

**PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS STEM PADA MATERI PENCEMARAN UDARA  
UNTUK MELATIHKAN KETERAMPILAN BERPIKIR KRITIS SISWA*****Development Of STEM-Based E-Modules On Air Pollution Material To Train Students'Critical Thinking Skills*****Putri Amelia Purnomo**

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

*E-mail:* [putriamelia.21028@mhs.unesa.ac.id](mailto:putriamelia.21028@mhs.unesa.ac.id)**Rinie Pratiwi Puspitawati**

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

*E-mail:* [riniepratiwipuspitawati@mhs.unesa.ac.id](mailto:riniepratiwipuspitawati@mhs.unesa.ac.id)**Abstrak**

Keterampilan yang dibutuhkan di dunia pendidikan saat ini adalah keterampilan berpikir kritis. Pendekatan pembelajaran berbasis *STEM* telah menunjukkan keefektifannya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis. Studi ini berupaya mengembangkan *e-modul* berbasis *STEM* yang berfokus pada materi pencemaran udara, yang bertujuan untuk menumbuhkan keterampilan berpikir kritis yang valid, praktis, dan efektif. Model pengembangan yang digunakan adalah model 4D. *E-modul* diujicobakan kepada 25 siswa kelas X SMAS Kartika IV-3 Surabaya. Validitas *e-modul* diperoleh berdasarkan hasil validasi 3 validator. Kepraktisan *e-modul* ditinjau berdasarkan keterbacaan, keterlaksanaan, dan respon peserta didik. Keefektifan *e-modul* ditinjau dari hasil tes siswa. Teknik pengambilan data dilakukan menggunakan metode validasi, uji keterbacaan, metode pengamatan aktivitas siswa, metode angket, dan metode tes. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan validasi *e-modul* memperoleh skor rata-rata 3,75 dengan persentase 93,8% dinyatakan "sangat valid". Kepraktisan *e-modul* memperoleh beberapa hasil diantaranya respon peserta didik dengan persentase 98,8% kriteria sangat praktis, keterlaksanaan *e-modul* dengan persentase 98,3% kriteria sangat praktis, dan rata-rata keterbacaan berada pada level 10. Keefektifan *e-modul* memperoleh skor rata-rata 0,932 dengan kategori sangat baik; skor peningkatan menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis dalam kategori tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa *e-modul* berbasis *STEM* yang dikembangkan dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis.

**Kata Kunci:** *e-modul, STEM, berpikir kritis, pencemaran udara***Abstract**

The skills needed in education today are critical thinking skills. The *STEM-based learning approach* is proven to contribute to practicing critical thinking skills. The *STEM-based learning approach* has shown its effectiveness in improving critical thinking skills. This research aims to develop a *STEM-based e-module* focusing on air pollution material to foster valid, practical, and effective critical thinking skills. The development model used is the 4D model. The *e-module* was tested on 25 students of class X of SMAS Kartika IV-3 Surabaya. The validity of the *e-module* was obtained based on the validation results of 3 validators. The practicability of *e-modules* is based on readability, implementation, and students' responses. The effectiveness of *e-modules* is based on student test results. Data collection techniques were carried out using validation methods, readability tests, student activity observation, questionnaires, and test methods. The data obtained were analyzed descriptively and quantitatively. The results showed that the validation of *e-modules* obtained an average score of 3.75, with a percentage of 93.8% declared "very valid." The practicality of *e-modules* obtained several results, including student responses with 98.8% efficient criteria, the implementation of *e-modules* with a percentage of 98.3% efficient criteria, and the average readability at level 10. The effectiveness of *e-modules* obtained an average score of 0.932, an outstanding category; the improvement score showed that critical thinking skills were in the high category. Based on the data obtained, it can be concluded that the *STEM-based e-module* developed is valid, practical, and effective for practicing critical thinking skills.

**Keywords:** *e-module, STEM, critical thinking, air pollution***Purnomo, Putri Amelia: Pengembangan E-Modul Berbasis STEM**

630



## PENDAHULUAN

Keterampilan yang dibutuhkan di dunia pendidikan saat ini adalah keterampilan berpikir kritis. Keterampilan ini berpusat pada pengambilan keputusan dengan penuh pertimbangan tentang apa yang akan diambil dan dilakukan selanjutnya serta memunculkan keterampilan dalam memecahkan masalah, memberikan keputusan, menganalisis pendapat, dan mengevaluasi (Davidi dkk., 2021). Oleh karena itu indikator keterampilan berpikir kritis tersebut dapat dicapai jika peserta didik dihadapkan pada situasi dan kondisi pembelajaran yang memuat keterampilan tersebut. Akan tetapi, keterampilan berpikir kritis siswa di Indonesia masih di bawah standar yang diharapkan.

Di era pendidikan abad ke-21, keterampilan berpikir kritis telah menjadi tujuan utama dalam banyak sistem pendidikan nasional, termasuk Indonesia (Atiah, 2020). Namun, kondisi pendidikan Indonesia saat ini mencerminkan perlunya peningkatan keterampilan berpikir kritis. Program Penilaian Siswa Internasional (PISA) 2022 mengungkapkan penurunan skor literasi sains Indonesia, turun dari 379 pada tahun 2018 menjadi 366 pada tahun 2022 (OECD, 2022). Oleh karena itu, sangat penting untuk meningkatkan pemikiran kritis dalam lingkungan pendidikan. Salah satu langkah yang dapat diterapkan adalah penggunaan pembelajaran terintegrasi teknologi, yang berpotensi untuk melibatkan siswa secara aktif dan mendukung keterampilan berpikir kritis.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa teknologi memainkan peran penting dalam pendidikan, meliputi penggunaan beragam media pembelajaran dan ketersediaan sumber daya pembelajaran digital yang meningkatkan aksesibilitas dan keterlibatan dalam proses pembelajaran (Arlinayanti & Svari, 2024). Namun, tidak semua peserta didik dapat mengimbangi perkembangan teknologi dengan potensi yang semakin berkembang. Menggunakan media pembelajaran biologi dengan berbasis teknologi merupakan salah satu bentuk integrasi teknologi dalam kegiatan pembelajaran.

Media pembelajaran berfungsi sebagai alat bantu pendidik dalam menyampaikan materi ajar secara efektif, sehingga memudahkan pemahaman siswa (Wulandari dkk., 2023). Di antara berbagai jenis media pembelajaran berbasis teknologi, modul elektronik atau *e-modul* muncul sebagai sumber daya yang berharga. *E-modul* adalah materi digital yang dirancang secara berkala yang dapat diakses dan digunakan secara mandiri oleh siswa. Modul disajikan dalam format elektronik, sehingga

memungkinkan pembelajaran yang fleksibel, sesuai kecepatan belajar siswa, dan aksesibilitas yang lebih baik (Seruni dkk., 2019).

Melalui *e-modul* siswa mampu belajar secara mandiri atau dengan keterlibatan guru seminimal mungkin (Prastowo, 2015). Selain itu, *e-modul* dapat digunakan untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis peserta didik sesuai tuntutan abad ke-21 (Pujiati dkk., 2019). Media pembelajaran pada materi biologi memiliki peran penting dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan khususnya dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Berbagai masalah pencemaran lingkungan semakin penting untuk dipelajari karena menyangkut keberlangsungan kehidupan di masa depan. Salah satu masalah pencemaran yang tidak kalah penting adalah pencemaran udara. Udara adalah komponen utama kehidupan yang dihirup setiap saat, sehingga pencemarannya langsung memengaruhi sistem pernapasan, kardiovaskular, dan otak (Mukono, 2014:22). Pencemaran udara dapat memengaruhi kesehatan dan kesehatan manusia serta makhluk hidup lainnya (Yasir, 2021). Oleh karena itu, mengetahui konsep-konsep terkait dengan pencemaran udara penting bagi pendidikan dan perkembangan pribadi individu. Peserta didik dituntut untuk dapat menghadapi problem pada fenomena alam sehingga diperlukan keterampilan berpikir kritis.

Secara global, keterampilan berpikir kritis telah diakui sebagai tujuan penting pendidikan dan pendekatan pembelajaran berbasis *STEM* dilaporkan terbukti dapat berkontribusi dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis (Yaki, 2022). *STEM* merupakan perpaduan dari empat bidang ilmu dalam suatu pembelajaran yang erat kaitanya dengan penyelesaian masalah kehidupan nyata (Airlanda & Dywan, 2022). Materi dkk. (2020) melakukan penelitian tentang dampak *STEM* terhadap keterampilan berpikir kritis, hasilnya menunjukkan bahwa kelompok eksperimen pembelajaran dengan pendekatan *STEM* telah meningkatkan keterampilan berpikir kritis dibandingkan dengan kelompok pembelajaran tradisional.

Model pembelajaran yang dipadukan dengan pendekatan *STEM* dapat membantu melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa (Wartono, 2018). Untuk mendukung implementasi *STEM* secara efektif dalam bidang pendidikan biologi, *e-modul* atau modul elektronik berbasis *STEM* dapat menjadi solusi dalam mengatasi hal tersebut. Di dalam *e-modul* dapat berisi materi pembelajaran dan fitur-fitur berupa *STEM-Education*, *STEM-Think*, *STEM-News*, *STEM-Watch*, *STEM-information*, *STEM-Activity*, dan *STEM-Reflection*. Pada penelitian ini, instrumen yang akan digunakan adalah

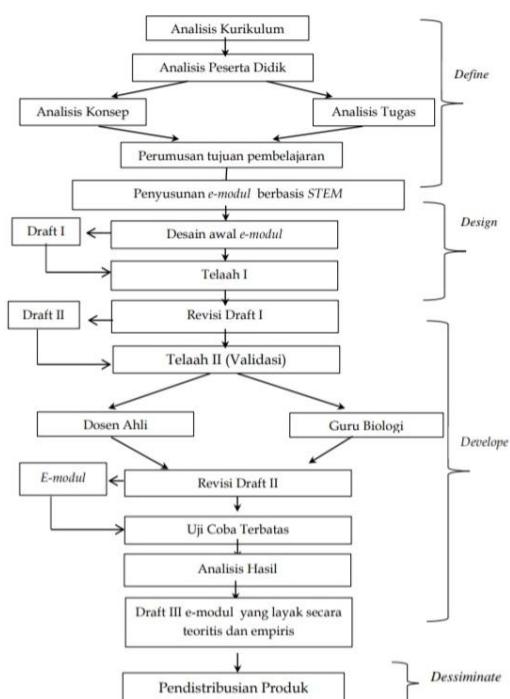


pretest dan posttest, dan dalam soal tersebut akan menampilkan indikator interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, dan regulasi diri yang harus ditunjukkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, sesuai dengan tantangan di masa depan untuk mengintegrasikan teknologi sebagai media pembelajaran dengan bahan ajar berbasis STEM, maka peneliti tertarik mengembangkan produk bahan ajar yang berjudul pengembangan *e-modul* berbasis STEM pada materi pencemaran udara untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa. Pengembangan *e-modul* tersebut nantinya diharapkan dapat melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas X SMA dan membekali peserta didik untuk berkontribusi pada upaya global dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan lingkungan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan model pengembangan 4-D (*four-D models*) yaitu *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate*. Model ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model Pengembangan 4-D  
(Slamet, 2020)

Tahap *Define* melibatkan empat komponen analisis utama: analisis kurikulum, analisis siswa, analisis tugas, dan analisis konsep. Analisis ini dilakukan untuk memastikan bahwa desain instruksional selaras dengan standar pendidikan, karakteristik peserta didik, tujuan pembelajaran, dan konten penting. Setelah ini, tahap *Design* berfokus pada pembuatan prototipe produk awal.

Dalam konteks ini, proses desain berpusat pada pengembangan *e-modul* berbasis STEM, yang mengintegrasikan prinsip sains, teknologi, teknik, dan matematika ke dalam format instruksional yang kohesif. Tahap *Design* bertujuan untuk penyusunan *e-modul* berbasis STEM pada materi pencemaran udara yang akan dikembangkan pada perancangan terdapat dua tahapan yaitu penyusunan konsep yang akan dikembangkan dan desain awal *e-modul*. Tahap *Develop* dilakukan untuk menghasilkan suatu produk penelitian. Produk dalam penelitian ini adalah *e-modul* berbasis STEM pada materi pencemaran udara yang dikembangkan berdasarkan hasil revisi dan masukan dari dosen pembimbing, dosen penguji seminar proposal, validator, dan guru biologi SMA. Tahap *Disseminate* dilakukan secara terbatas. Uji coba dilakukan secara terbatas terhadap 25 peserta didik kelas X SMA Kartika IV-3 Surabaya yang mempunyai kemampuan heterogen.

Lembar validitas mengacu pada skala Likert (Riduwan & Sunarto, 2013) dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Skala Likert

Skor	Keterangan
1	Kurang valid
2	Cukup valid
3	Valid
4	Sangat valid

Analisis data validasi disajikan dalam bentuk persentase, yang dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Skor Validitas (\%)} = \frac{\text{Jumlah total yang diperoleh}}{\text{Jumlah skor maksimal}} \times 100\%$$

Hasil validasi menggunakan kriteria skor validitas yang telah ditentukan sebelumnya, berfungsi untuk mengevaluasi tingkat kelayakan *e-modul* yang dikembangkan, seperti yang diuraikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria interpretasi validitas *e-modul*

Skor (%)	Keterangan
25-39,9	Tidak valid
40-54,9	Kurang valid
55-69,9	Cukup valid
70-84,5	Valid
85-100	Sangat valid

(Riduwan & Sunarto, 2013).

Lembar respon peserta didik dan lembar pengamatan aktivitas siswa mengacu pada skala Guttman dalam Tabel 3. menurut (Sugiono, 2013)

Tabel 3. Kriteria Skala Guttman

Jawaban	Skor
Ya	1
Tidak	0

Hasil kepraktisan akan diinterpretasikan menggunakan tabel kriteria menurut (Riduwan & Sunarto, 2013). Tabel kriteria interpretasi dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria Kepraktisan

Skor (%)	Keterangan
0-48	Sangat tidak praktis
49-61	Tidak praktis
62-74	Cukup praktis
75-87	Praktis
88-100	Sangat Praktis

(Riduwan & Sunarto, 2013)

Analisis kepraktisan juga diperoleh dari hasil keterbacaan grafik *fry* menggunakan rumus berikut:

$$\text{Jumlah kalimat sisa} =$$

$$\frac{\text{Jumlah kata dalam kalimat yang masuk 100 kata}}{\text{Jumlah kata dalam kalimat terakhir}}$$

Data hasil belajar siswa dianalisis untuk mengetahui efektivitas pembelajaran melalui penerapan rumus *N-Gain Score* menurut (Leedy & Ormarod, 2019) berikut:

$$N\text{-Gain} = \frac{Skor Posttest - Skor pretest}{Skor maksimal - Skor pretest}$$

Hasil *pretest* dan *posttest* peserta didik akan dianalisis sesuai dengan indikator yang ditetapkan, dan hasil penilaian tersebut diinterpretasikan berdasarkan kategori pencapaian keterampilan berpikir kritis peserta didik yang tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5.

Skor	Keterangan
0,81-1,00	Sangat baik
0,61-0,80	Baik
0,41-0,60	Cukup baik
0,21-0,40	Kurang baik
0,00-0,20	Sangat kurang baik

(Facione, 2015)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan *e-modul* berbasis STEM pencemaran udara untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa. *E-modul* memuat beberapa komponen yang disajikan yaitu sampul, kata pengantar, daftar isi, petunjuk penggunaan *e-modul*, fitur-fitur dalam *e-modul*, capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, peta konsep, rangkuman, daftar pustaka, dan glosarium. *E-*

**Purnomo, Putri Amelia: Pengembangan E-Modul Berbasis STEM**

*modul* ini dikembangkan dalam bentuk digital dengan tampilan menyerupai *flipbook* yang terdiri dari beberapa *layer*. Karakteristik dari *e-modul* berbasis STEM yang dikembangkan yaitu adanya kegiatan yang mengharuskan siswa untuk mengintegrasikan pengetahuan dari sains, teknologi, teknik, dan matematika yang termuat di dalam fitur-fitur yang disediakan. Fitur-fitur *e-modul* dimuat dalam Tabel 6.

Tabel 6. Fitur-fitur *e-modul*

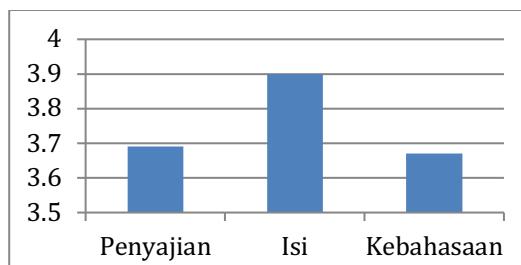
No.	Jenis Fitur	Keterangan
1.	<i>STEM-Education</i> 	Memuat konsep dan materi pencemaran udara.
2.	<i>STEM-Think</i> 	Siswa mengeksplorasi informasi dan mengunjungi website IQAir untuk mengetahui kualitas udara suatu daerah.
3.	<i>STEM-News</i> 	Memuat berita atau informasi berupa tingkat polusi di suatu wilayah.
4.	<i>STEM-Information</i> 	Memuat informasi tambahan yang berkaitan dengan materi pencemaran udara.
5.	<i>STEM-Activity</i>  	Mengajak siswa melakukan projek sederhana berkaitan pencemaran udara.

Fitur-fitur *e-modul* ini dikaitkan dengan indikator kerampilan berpikir kritis dan pendekatan pembelajaran berbasis *STEM*, secara detail disajikan dalam tabel 7.

Tabel 7. Aktivitas siswa pada *e-modul*

Indikator	Aspek <i>STEM</i>	Aktivitas Siswa
Inferensi	<i>Sains</i>	Mengidentifikasi dan menyimpulkan argument pada fitur <i>STEM-News</i>
Evaluasi	<i>Sains Technology</i>	Mengevaluasi dampak dari aktivitas manusia terhadap kualitas udara pada fitur <i>STEM-Watch</i>
Interpretasi	<i>Sains Technology</i>	Mendeskripsikan indeks kualitas udara dari hasil eksplorasi berbantuan website IQAir pada fitur <i>STEM-Think</i>
Analisis	<i>Sains Technology Engineering Mathematic</i>	Siswa merangkai komponen elektronik dasar (Arduino & MQ-2), memprogram untuk merubah polusi udara agar terbaca pada software arduino, menganaliss dan menginterpretasikan data hasil eksplorasi polusi udara di lingkungan sekitar.

Kualitas suatu *e-modul* ditentukan oleh kesesuaiannya dengan persyaratan standar pengembangan modul pembelajaran.. Menurut Daryanto (2013:9) modul yang dikembangkan harus memiliki karakteristik mandiri, lengkap, berdiri sendiri, adaptif, dan mudah digunakan. *E-modul* ini dilakukan uji kevalidan berdasarkan syarat tersebut yang dirangkum berdasarkan tiga aspek yaitu kelayakan penyajian, isi, dan kebahasaan.



Gambar 2. Hasil validitas *e-modul*

Penilaian pertama yaitu penilaian kelayakan penyajian yang meliputi kualitas tampilan, *layout*, kesesuaian tipe huruf, dan kualitas warna. Kelayakan penyajian memperoleh skor 3,69 jika diinterpretasikan yaitu 92,25% dengan kategori sangat valid. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Andriyanto, dkk. (2023) bahwa aspek dari sisi grafis seperti kesatuan (*unity*), penggambaran yang representatif, pemilihan warna, tipografi, dan tata letak (*layout*) dapat menarik perhatian dari pembaca dan meningkatkan pengaruh pemahaman siswa.

Kelayakan isi meliputi keluasan dan kebenaran konsep, sistematika *e-modul*, aspek *STEM*, dan aspek berpikir kritis. Kelayakan isi memperoleh skor 3,90 jika diinterpretasikan yaitu 97,5% dengan kategori sangat valid. Menurut Daryanto (2013:9), modul yang dikembangkan dengan baik harus memiliki beberapa karakteristik utama, termasuk desain pembelajaran mandiri. Ini berarti modul harus secara jelas menyajikan tujuan pembelajaran dan materi yang disusun menjadi unit kegiatan terstruktur yang memfasilitasi pembelajaran mandiri. Modul juga harus mencakup ilustrasi untuk mendukung pemahaman, soal latihan untuk menilai pemahaman konseptual siswa, konten kontekstual yang relevan dengan situasi kehidupan nyata, dan ringkasan untuk memperkuat materi yang disajikan.

Kelayakan kebahasaan meliputi penggunaan bahasa, struktur bahasa, penggunaan istilah, dan kemampuan memotivasi memperoleh skor 3,67 jika diinterpretasikan yaitu 91,75% dengan kategori sangat valid. Hal ini juga konsisten dengan kriteria yang ditetapkan oleh BNS (2014), yang menyatakan bahwa bahasa yang digunakan dalam bahan ajar harus komunikatif dan informatif

Rata-rata keseluruhan aspek memperoleh skor 3,75 dengan presentase 93,8% dengan kategori sangat valid. pembelajaran dan telah memenuhi syarat penyusunan *e-modul* yang baik. Hal ini sejalan dengan Anggia (2020) yang menyatakan bahwa bahan ajar yang bermutu harus memenuhi standar keabsahan yang dinilai melalui relevansi isi, mutu penyajian, dan kejelasan bahasa.



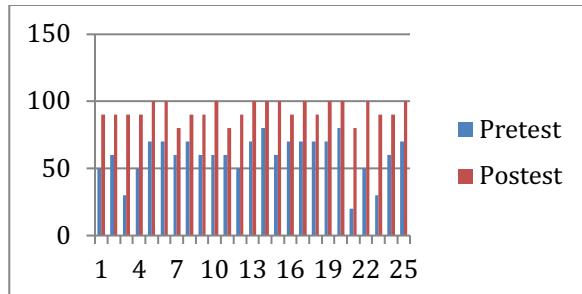
Kesesuaian taraf berpikir peserta didik dengan tingkat keterbacaan merupakan aspek yang sangat penting dalam menyusun bahan ajar (Kaldum, 2016). Uji keterbacaan dilakukan pada setiap sub materi dari *e-modul* yang dikembangkan untuk memastikan kejelasan dan kesesuaian konten. Sampel yang dipilih dimaksudkan untuk mewakili keseluruhan materi dalam *e-modul*. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 8, tujuh sampel yang dianalisis dianggap sesuai untuk pembaca Kelas 10. Temuan ini menunjukkan bahwa *e-modul* yang dikembangkan praktis dan efektif dalam hal keterbacaan.

Tabel 10. Rekapitulasi level keterbacaan *e-modul*

Sampel	Halaman	Jumlah Suku Kata	Level
1	5	163,8	10
2	11	161,4	10
3	13	157,8	10
4	15	151,2	10
5	16	155,4	10
6	18	154,8	10
7	20	157,2	10

Respon dari siswa menjadi indikator kedua untuk menilai kepraktisan modul elektronik berbasis *STEM* yang dikembangkan tentang materi pencemaran udara. Berdasarkan uji coba terbatas yang melibatkan 25 siswa SMA kelas sepuluh, rata-rata tingkat respons keseluruhan mencapai 98,88%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *e-modul* berbasis *STEM* termasuk dalam kategori "sangat praktis". Temuan ini menunjukkan bahwa *e-modul* sangat praktis untuk memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa, terutama dalam konteks pembelajaran tentang pencemaran udara.

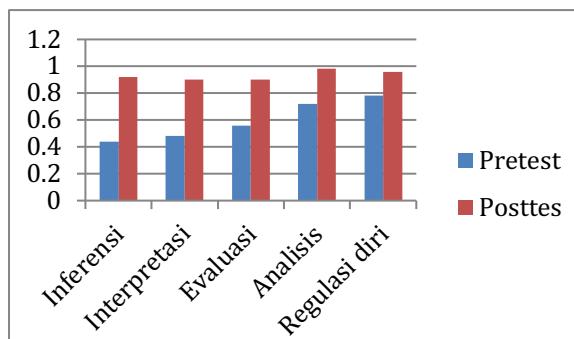
Data observasi aktivitas siswa selama proses pembelajaran menggunakan *e-modul* berbasis *STEM* menunjukkan bahwa modul tersebut sesuai dan efektif untuk digunakan dalam pembelajaran. Hal ini dibuktikan dengan keterlibatan siswa secara aktif dan tercapainya tujuan pembelajaran. Temuan ini sesuai dengan penelitian Fitria dkk. (2017) yang menyatakan bahwa efektivitas dan keseimbangan bahan ajar dapat dinilai melalui hasil belajar siswa yang mengikuti serangkaian kegiatan yang terstruktur. Penerapan fitur-fitur seperti *STEM-Watch*, *STEM-Think*, *STEM-News*, *STEM-Activity*, dan *STEM-Reflection* dalam *e-modul* selama proses pembelajaran menunjukkan tingkat kepraktisan yang tinggi. Dengan persentase kepraktisan sebesar 98,33%, *e-modul* ini dinilai sangat efektif dalam melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa.



Gambar 3. Analisis Skor Tes Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Efektivitas *e-modul* berbasis *STEM* yang dikembangkan dinilai melalui skor *pra-test* dan *post-test* siswa. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, modul tersebut secara signifikan meningkatkan keterampilan berpikir kritis, dengan skor rata-rata meningkat dari 59,6 (cukup baik) sebelum penerapan kemudian meningkat menjadi 93,2 (sangat baik) setelahnya. Hasil ini menegaskan efektivitas *e-modul* dalam melatihkan keterampilan berpikir kritis pada siswa.

Gambar 4 menyajikan hasil tes keterampilan berpikir kritis, yang mencakup indikator-indikator seperti interpretasi, analisis, inferensi, evaluasi, dan regulasi diri. Skor rata-rata di semua indikator meningkat dari 0,596 (cukup baik) sebelum menggunakan *e-modul* berbasis *STEM* menjadi 0,932 (sangat baik) setelah menggunakan *e-modul*.



Gambar 4. Keterampilan berpikir kritis peserta didik sebelum dan sesudah menggunakan *e-modul*

Berdasarkan data hasil ketercapaian indikator keterampilan berpikir kritis pada Gambar 4 diketahui bahwa indikator keterampilan inferensi mengalami peningkatan hasil ketercapaian dari 0,44 dengan kategori cukup baik menjadi 0,92 dengan kategori sangat baik setelah siswa menggunakan *e-modul*. Artinya, fitur *STEM-News* mampu melatihkan keterampilan inferensi peserta didik dengan "Sangat baik". Hasil validasi untuk indikator inferensi dalam komponen keterampilan

berpikir kritis menunjukkan bahwa indikator ini sangat valid. Indikator keterampilan inferensi tersedia pada fitur *STEM-News* yang mengajak siswa memahami peristiwa pencemaran udara melalui stimulus berupa berita kemudian siswa menjawab soal yang disajikan. Agustina (2020) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa permasalahan atau informasi yang bersumber dari berita atau artikel dapat digunakan sebagai stimulus untuk melatihkan keterampilan inferensi siswa.

Sementara itu, setelah siswa menggunakan *e-modul* berbasis *STEM*, ketercapaian pada indikator keterampilan interpretasi meningkat dari 0,48 dengan kategori cukup baik menjadi 0,9 dengan kategori sangat baik setelah siswa menggunakan *e-modul*. Artinya, fitur *STEM-Think* dan *STEM-Activity* mampu melatihkan keterampilan interpretasi dengan sangat baik. Fitur *STEM- Think* 2 mendorong siswa untuk menginterpretasi data hasil eksplorasi pencemaran udara di tiga kota di Indonesia berbantuan website IQAir. Sedangkan pada fitur *STEM-Activity* peserta didik melakukan aktivitas berupa project dengan pendekatan pembelajaran berbasis *STEM* berupa pembuatan alat peraga sederhana untuk mendeteksi udara tercemar di lingkungan berbantuan arduino dan sensor MQ-2. Setelah itu, siswa menginterpretasikan hasil data eksplorasi yang telah dilakukan di lingkungan sekolah. Selaras dengan penelitian yang dilakukan Permanasari (2016) menunjukkan bahwa penerapan *STEM* dapat memfasilitasi pengembangan pengetahuan dan memungkinkan siswa menjawab pertanyaan dan memungkinkan siswa untuk membangun pemahaman baru. Hasil validasi juga menunjukkan bahwa indikator interpretasi dalam komponen keterampilan berpikir kritis dinyatakan sangat valid.

Indikator keterampilan berpikir kritis yang selanjutnya adalah evaluasi yang tersedia pada fitur *STEM-Watch*. indikator keterampilan berpikir kritis yaitu evaluasi mengalami peningkatan hasil ketercapaian dari 0,56 dengan kategori cukup baik menjadi 0,9 dengan kategori sangat baik setelah siswa menggunakan *e-modul*. Artinya, fitur *STEM-Watch* mampu melatihkan indikator keterampilan evaluasi peserta didik dengan "Sangat baik". Hasil validasi juga menunjukkan komponen keterampilan berpikir kritis indikator evaluasi dinyatakan sangat valid. Fitur *STEM-Watch* mengajak siswa untuk mengamati peristiwa melalui tayangan video kemudian mengevaluasi informasi yang mereka dapatkan. Video tersebut dapat memungkinkan peserta didik mengamati fenomena secara langsung dan visual sehingga dapat meningkatkan pemahaman konsep. Hartati dan Siregar (2024) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa manfaat dari

**Purnomo, Putri Amelia: Pengembangan E-Modul Berbasis STEM**

penggunaan video sebagai media pembelajaran yaitu dapat membantu mempertahankan perhatian peserta didik dalam waktu singkat dan memberikan rangsangan visual yang memperkaya pengalaman belajar.

Indikator keterampilan berpikir kritis berikutnya yaitu indikator menganalisis. indikator keterampilan menganalisis mengalami peningkatan hasil ketercapaian sebesar 0,72 dengan kategori baik menjadi 0,98 dengan kategori sangat baik setelah siswa menggunakan *e-modul*. Dari data tersebut menunjukkan adanya peningkatan keterampilan menganalisis pada peserta didik. Artinya, fitur *STEM-Think* dan *STEM-Activity* pada *e-modul* mampu melatihkan indikator keterampilan analisis dengan sangat baik. Hasil validasi membuktikan bahwa indikator menganalisis tersebut sangat valid. Fitur *STEM- Think* mendorong siswa untuk menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan kualitas udara buruk dari hasil eksplorasi berbantuan website IQAir. Sedangkan fitur *STEM-Activity* mendorong siswa untuk dapat menganalisis dampak kesehatan yang dapat terjadi berdasarkan hasil praktikum penggunaan alat pendekripsi udara tercemar di lingkungan sekolah. Melalui kegiatan pada fitur *STEM-Activity* yang mengintegrasikan *sains*, *technology*, *engineering*, dan *mathematic* dalam kegiatan project terbukti dapat melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa. Demikian pula, Rahmawati dkk. (2022) menekankan bahwa materi pembelajaran dapat diintegrasikan secara efektif dengan pendekatan *STEM* melalui tugas berbasis proyek yang dirancang untuk melatih keterampilan berpikir kritis siswa.

Disisi lain, peneliti juga menyajikan fitur *STEM-Reflection* yang dapat melatihkan keterampilan regulasi diri pada peserta didik. Setelah peserta didik menggunakan *e-modul* ketercapaian pada indikator keterampilan regulasi diri meningkat dari 0,78 dengan kategori baik menjadi 0,96 dengan kategori sangat baik. Artinya, fitur *STEM-Reflection* dapat melatihkan indikator keterampilan regulasi diri peserta didik dengan "Sangat baik". Hasil validasi juga membuktikan bahwa indikator regulasi diri sangat valid. Fitur *STEM-Reflection* yang terdapat di dalam *e-modul* berisi pertanyaan umpan balik yang ditujukan kepada peserta didik setelah melakukan kegiatan pembelajaran dengan menggunakan *e-modul*. Wowor, dkk. (2022) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa refleksi penting dilakukan bagi peserta didik karena memiliki fungsi untuk melihat kembali pengetahuan dan keterampilan yang telah dikuasai.

Modul elektronik berbasis *STEM* tersebut menunjukkan tingkat validitas, kepraktisan, dan



keefektivan yang tinggi menunjukkan bahwa *e-modul* memiliki potensi untuk digunakan sebagai sumber belajar terutama dalam melatihkan keterampilan berpikir kritis siswa.

## PENUTUP

### Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan validasi *e-modul* memperoleh skor rata-rata 3,75 dengan persentase 93,8% dinyatakan “sangat valid”. Kepraktisan *e-modul* memperoleh beberapa hasil diantaranya respon peserta didik dengan persentase 98,8% kriteria sangat praktis, keterlaksanaan *e-modul* dengan persentase 98,3% kriteria sangat praktis, dan rata-rata keterbacaan berada pada level 10. Keefektifan *e-modul* diperoleh dari nilai keterampilan berpikir kritis rata-rata 0,932 dengan kategori sangat baik; skor peningkatan menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis dalam kategori tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa *e-modul* berbasis STEM yang dikembangkan dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk melatihkan keterampilan berpikir kritis.

### Saran

Disarankan pada penelitian selanjutnya agar siswa diberi kebebasan memilih teks dalam uji keterbacaan, sehingga hasil yang diperoleh lebih mencerminkan tingkat keterbacaan yang sesuai dengan karakteristik pembaca. Direkomendasikan adanya pengembangan lebih lanjut dari *e-modul* berbasis STEM yang serupa pada mata pelajaran lain, mengingat respon positif yang diterima dari siswa dan guru terhadap *e-modul*.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Fida Rachmadiarti, M.Kes., dan Dr. Pramita Yakub, S.Pd., M.Pd. sebagai validator, serta guru biologi dan siswa SMA Kartika IV-3 Surabaya yang telah berkontribusi dalam pengembangan *e-modul* berbasis STEM.

### DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, M. I., Herlambang, A. D., & Rahman, K. (2023). Pengaruh Implementasi Unsur Desain Grafis pada Media Pembelajaran berbasis Presentasi dalam Mata Pelajaran Pemrograman Dasar terhadap Motivasi Belajar Siswa SMK. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 7(4), 1651-1655.
- Anggia, V. (2020). Pengembangan Bahan Ajar Materi Segiempat dan Segitiga Kelas VII SMP/MTs Berbasis *Purnomo, Putri Amelia: Pengembangan E-Modul Berbasis STEM*
- Airlanda, G. S & Dywan, A. A. (2020). Efektivitas model pembelajaran project based learning berbasis STEM dan tidak berbasis STEM terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Basicedu*, 4(2):344-354.
- Arlinayanti, K. D. & Svari, N. M. F. D., (2024). Perubahan paradigma pendidikan melalui pemanfaatan teknologi di era global. *Metta: Jurnal Ilmu Multidisiplin*, 4(3), 50-63.
- BNSP. (2014). Naskah Akademik Instrumen Penilaian Buku TeksPelajaran Pendidikan Dasar dan Menengah. (Online), [bns.indonesia.org/2014/05/28/instrumen-penilaian-bukuteks-pelajaran-tahun-2014/](http://bns.indonesia.org/2014/05/28/instrumen-penilaian-bukuteks-pelajaran-tahun-2014/).
- Daryanto. (2013). *Menyusun Modul Bahan Ajar untuk Persiapan Guru dalam Mengajar*. (hlm 9) Yogyakarta: Gava Media.
- Davidi, EIN, Sennen, E., & Supardi, K. (2021). Integrasi Pendekatan STEM (*Sains, Teknologi, Enggeering dan Matematika*) untuk Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. Cendekiawan: *jurnal pendidikan dan kebudayaan*, 11 (1):11-22.
- Facione, P.A. (2015). *Critical Thinking: What It Is and Why It Counts*. Millbrae, CA: The California Academic Press. Rustaman.
- Fitriah, D., & Mirienda, M. U. (2019). Kesiapan Guru dalam Menghadapi Tantangan Pendidikan Berbasis Teknologi. In *Prosiding Seminar Nasional Program Pascasarjana Universitas PGRI Palembang*.
- Hartati, S., & Siregar, S. A. (2024). Pemanfaatan Video Pembelajaran dalam Pembelajaran Kimia untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Kimia. *Journal of Chemistry Education and Integration*, 3(2), 111-119.
- Leedy, Paul D & Jeanne E. Ormord. (2010). *Practical Research Planning and Design*. United State of America: PEARSON education.
- Mater, N. R., Hussein, M. J. H., Salha, S. H., Draidi, F. R., Shaqour, A. Z., Qatanani, N. and Affouneh, S. (2020). The Effect of The Integration of STEM on Critical Thinking and Technology Acceptance Model. *Educational Studies*, 48(5), 642-658.
- Mukono. (2014). *Pencemaran Udara dalam Ruangan: Berorientasi Kesehatan Masyarakat*. Surabaya. Airlangga University Press.
- Mukono. (2011). *Aspek Kesehatan Pencemaran Udara*. Airlangga University Press



Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *PISA 2018 results (Volume I)*. OECD.

Permanasari, A. (2016). STEM education: Inovasi dalam pembelajaran sains. In *Seminar Nasional Pendidikan Sains VI 2016*. Sebelas Maret University.

Prastowo, Andi. (2015). *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press.

Pujiati, Rahmawati, F. dan Rahmawati. (2019). Pentingnya E-Module Pembelajaran Peserta Didik Di Era Revolusi Industri 4.0. *The 2nd Proceeding Annual National Conference for Economics and Economics Education Research* Vol. 2 : 81 – 87.

Rahmawati. (2019). Pentingnya E-Module Pembelajaran Peserta Didik Di Era Revolusi Industri 4.0. *The 2nd Proceeding Annual National Conference for Economics and Economics Education Research* Vol. 2 : 81 – 87.

Riduwan & Sunarto. (2013). *Pengantar Statistika Pendidikan, Sosial, Ekonomi, Komunikasi, dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.

Seruni, R., Munawaho, S., Kurniadewi, F., & Nurjayadi, M. (2019). Pengembangan Modul Elektronik (E-Module) Biokimia Pada Materi Metabolisme Lipid Menggunakan Flip PDF Professional. *Jurnal Tadris Kimiya*, 4(1), 48-56.

Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan RandD)*. Bandung: Alfabeta.

Wartono W., Hudha M. N. and Batlolona J. R, 2018. How Are The Physics Critical Thinking Skills of The Students Taught by Using Inquiry-Discovery Through Empirical And Theoretical Overview? *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(2), 691-697.

Wulandari, A. P., Salsabila, A. A., Cahyani, K., Nurazizah, T. S., & Ulfiah, Z. (2023). Pentingnya Media Pembelajaran dalam Proses Belajar Mengajar. *Journal on Education*, 5(2), 3928-3936.

Wowor, E. C., Tumewu, W. A., & Mokalu, Y. B. (2022). Implementasi Repetitive Method Melalui Kegiatan Refleksi Dalam Pembelajaran. *SOSCIED*, 5(2), 272-279.

Yaki, A. A. (2022). Fostering Critical Thinking Skills Using Integrated STEM Approach among Secondary

School Biology Students. *European Journal of STEM Education*, 7(1), 6.

Yasir, M. (2021). Pencemaran Udara di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan. *PPJP (Pusat Pengelolahan Jurnal dan Penerbitan Universitas Lambung Mangkurat)*.

