

PENGEMBANGAN E-MODUL STOIKIOMETRI BERBASIS TPACK DENGAN MODEL *PROBLEM BASED LEARNING* UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN BERPIKIR KRITIS PESERTA DIDIK

Development of a TPACK Based Stoichiometric E-Module with a Problem Based Learning Model to Improve Students Critical Thinking Skills

Dewi Mariyam^{1*}, Iriani Bakti¹, Atiek Winarti¹, Rusmansyah¹

¹Jurusan Pendidikan Kimia, FKIP Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Brigjen H. Hasan Basry Banjarmasin, 70123, Kalimantan Selatan
Indonesia

*email: mariyamdewi6@gmail.com

Informasi Artikel	Abstrak
Kata kunci: Berpikir Kritis, E-modul, PBL, Stoikiometri, TPACK	Penelitian <i>Research and Development</i> (R&D) ini bertujuan menghasilkan e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model <i>Problem Based Learning</i> (PBL) yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE yang meliputi tahap <i>analyze, design, development, implementation, dan evaluation</i> . Subjek penelitian terdiri atas 5 validator, 15 peserta didik kelas XI pada uji coba perorangan dan kelompok kecil, serta 36 peserta didik kelas X SMA Negeri 5 Banjarmasin pada uji coba terbatas. Data dikumpulkan melalui lembar validasi, kuesioner, lembar observasi, serta tes <i>pretest</i> dan <i>posttest</i> . Data dianalisis menggunakan Aiken V, persentase, dan N-gain. Hasil penelitian menunjukkan e-modul yang dikembangkan memiliki validitas sangat tinggi (Aiken V = 0,95), kepraktisan sangat tinggi (97,43%), dan efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik (N-gain = 0,80; kategori tinggi). Berdasarkan hasil tersebut, disimpulkan e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model PBL yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pembelajaran kimia untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Penggunaan e-modul ini juga dapat mendukung penerapan pembelajaran yang berpusat pada peserta didik sekaligus menjadi referensi dalam pengembangan bahan ajar digital pada materi kimia lainnya.
Keywords: <i>Critical Thinking, E-module, PBL, Stoichiometry, TPACK</i>	Abstract. <i>This Research and Development (R&D) research aims to produce TPACK-based stoichiometric e-module with valid, practical, and effective Problem Based Learning (PBL) model in improving students' critical thinking skills. The development model used is ADDIE which includes the analyze, design, development, implementation, and evaluation stages. The research subjects consisted of 5 validators, 15 class XI students in individual and small group trials, and 36 class X students of SMA Negeri 5 Banjarmasin in limited trial. Data was collected through validation sheets, questionnaires, observation sheets, as well as pretest and posttest tests. The data was analyzed using Aiken V, percentage, and N-gain. The results showed that the e-modules developed had very high validity (Aiken V = 0.95), very high practicality (97.43%), and</i>

were effective in improving students' critical thinking skills (N-gain = 0.80; high category). Based on these results, it was concluded that the TPACK-based stoichiometric e-module with the PBL model developed is suitable for use as chemistry learning medium to improve students' critical thinking skills. The use of this e-module can also support the application of student-centered learning as well as reference in the development of digital teaching materials on other chemistry materials.

PENDAHULUAN

Pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka mengubah paradigma perencanaan pembelajaran melalui penerapan Capaian Pembelajaran (CP) yang disusun berdasarkan fase perkembangan peserta didik, serta tidak hanya berfokus pada perubahan struktur materi pembelajaran (Rosmawaty et al., 2026). Implementasi Kurikulum Merdeka yang dikaitkan dengan pembelajaran abad ke-21 diharapkan mampu membentuk berbagai kompetensi peserta didik, seperti kemampuan berpikir kritis, kreativitas dan inovasi, komunikasi efektif, kolaborasi, literasi digital, kemampuan belajar mandiri, serta adaptabilitas dan fleksibilitas (Djoeaeriah & Iskandar, 2024). Dari berbagai kompetensi tersebut, kemampuan berpikir kritis menjadi salah satu keterampilan penting yang perlu dikembangkan dalam proses pembelajaran karena dapat membantu peserta didik dalam menganalisis, memecahkan masalah, dan mengambil keputusan secara logis (Husna et al., 2025).

Rendahnya kualitas pendidikan di Indonesia salah satunya dipengaruhi oleh kemampuan berpikir kritis (critical thinking) peserta didik yang masih belum optimal. Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh proses pembelajaran yang kurang efektif sehingga belum mampu memfasilitasi pengembangan minat, bakat, serta potensi peserta didik secara maksimal (Anisa et al., 2021; Juliyanika & Batubara, 2022). Salah satu solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi rendahnya kemampuan berpikir kritis peserta didik adalah melalui penerapan model *Problem Based Learning* (PBL). *Problem Based Learning* (PBL) merupakan model pembelajaran yang mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik melalui kegiatan bertanya, menjawab pertanyaan, menganalisis, serta memecahkan masalah baik secara individu maupun kelompok. Penerapan PBL juga dapat membantu menghasilkan berbagai alternatif solusi dalam pemecahan masalah serta meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik (Kusumawati et al., 2022; Susanti et al., 2023).

Model PBL peserta didik diarahkan untuk mencari dan menemukan solusi melalui kegiatan penyelidikan serta proses pencarian informasi berdasarkan teori, konsep, dan prinsip yang relevan. Menurut Khadijah et al (2025) Penerapan PBL dalam proses pembelajaran mampu menciptakan suasana kelas yang lebih aktif sehingga peserta didik terlibat secara langsung dalam kegiatan belajar. Melalui model ini, peserta didik menjadi lebih berani menjawab pertanyaan guru, mengemukakan pertanyaan, serta aktif berpartisipasi dalam diskusi kelompok (Situmorang & Laksono, 2025). Selain mampu meningkatkan keaktifan peserta didik dalam proses pembelajaran, model PBL juga dapat membantu peserta didik berpikir lebih responsif, memecahkan masalah terutama pada materi kimia yang bersifat kompleks, serta menganalisis permasalahan yang awalnya sulit hingga menemukan penyelesaiannya (Murtihapsari et al., 2022).

Mata pelajaran kimia memiliki hubungan yang sangat erat dengan kehidupan sehari-hari manusia. Pada dasarnya, pembelajaran kimia salah satu pembelajaran yang menarik dan menyenangkan karena mempelajari berbagai keunikan materi, mulai dari struktur, komposisi, sifat, hingga perubahan yang terjadi pada materi tersebut (Sinaga, 2022). Namun, keterbatasan strategi dan media pembelajaran membuat materi kimia

sering dianggap abstrak, sulit dipahami, dan kurang menarik bagi peserta didik (Waruwu & Sitinjak, 2022). Materi stoikiometri sering dianggap sulit oleh peserta didik karena mengintegrasikan konsep-konsep kimia yang bersifat abstrak, konseptual, dan kuantitatif. Peserta didik tidak hanya dituntut memahami konsep mol, persamaan reaksi, dan hubungan antarpartikel, tetapi juga mampu menerapkan hubungan kuantitatif tersebut dalam penyelesaian perhitungan stoikiometri (Salame et al., 2026; Stott, 2023). Oleh karena itu, materi stoikiometri perlu diajarkan dengan metode yang tepat agar peserta didik mampu memahami konsep dasarnya serta menerapkannya pada pembelajaran di tingkat selanjutnya (Khairani et al., 2022).

Proses pembelajaran kimia di beberapa sekolah menengah atas masih didominasi oleh guru, di mana metode ceramah dan latihan soal lebih sering digunakan dibandingkan kegiatan pembelajaran yang melibatkan peserta didik secara aktif (Sari et al., 2025; Zainuddin, 2024). Keterbatasan strategi dan media pembelajaran juga menyebabkan materi kimia, khususnya yang membahas aspek mikroskopis dan submikroskopis, menjadi lebih abstrak, sulit dipahami, dan kurang menarik sehingga dapat menurunkan minat belajar peserta didik dalam pembelajaran kimia (Waruwu & Sitinjak, 2022). Oleh sebab itu, dibutuhkan strategi pembelajaran yang lebih inovatif dan sesuai dengan kebutuhan peserta didik. Sejalan dengan perkembangan teknologi, berbagai inovasi di bidang pendidikan terus berkembang, salah satunya melalui pemanfaatan e-modul berbasis Android sebagai media pembelajaran (Masrida & Supiarti, 2024).

E-modul berkembang sebagai bentuk inovasi dari modul interaktif yang dilengkapi dengan animasi, gambar, video, maupun audio. Materi pembelajaran disajikan dengan desain yang menarik sehingga dapat mendukung proses pembelajaran dan membantu peserta didik memanfaatkan perangkat elektronik interaktif secara optimal (Delita et al., 2022). Melalui fitur seperti animasi, simulasi, video pembelajaran, dan latihan soal interaktif, e-modul berbasis Android dapat mempermudah peserta didik dalam memahami konsep-konsep kimia secara lebih menarik dan menyenangkan. Selain itu, penggunaan e-modul juga memberikan keleluasaan bagi peserta didik untuk belajar kapan pun dan di mana pun sesuai dengan kemampuan belajar masing-masing (Masrida & Supiarti, 2024).

Pemanfaatan e-modul merupakan salah satu bentuk penerapan teknologi dalam proses pembelajaran. Teknologi menjadi bagian penting dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk di bidang pendidikan. Penerapan teknologi dalam pembelajaran berkaitan dengan integrasi aspek teknologi, pedagogi, dan materi yang dikenal dengan TPACK (Technology, Pedagogical, and Content Knowledge). Penggunaan teknologi dalam pembelajaran menjadi tuntutan di era saat ini karena dapat mempermudah proses belajar mengajar (Ardiansyah & Yerimadesi, 2024). Kerangka kerja *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK) menjadi salah satu dasar penting dalam pengembangan bahan ajar. TPACK menekankan keterpaduan antara penguasaan materi (*content knowledge*), strategi pedagogis (*pedagogical knowledge*), dan pemanfaatan teknologi (*technological knowlege*) dalam merancang proses pembelajaran (Fitriyawany, 2025; Jibril & Adedokun-Shittu, 2024).

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan e-modul dengan model *Problem Based Learning* pada materi kimia, seperti konfigurasi elektron (Sandi et al., 2025), asam basa (Saputra et al., 2023), dan termokimia (Mahendra et al., 2023) yang telah valid, praktis dan efektif. Adapun penelitian yang telah mengembangkan e-modul berbasis TPACK dengan model PBL pada materi kimia, seperti laju reaksi (Fauziah et al., 2024) dan kesetimbangan kimia (Ardiansyah & Yerimadesi, 2024) yang telah valid, praktis dan efektif. Tetapi belum ada studi yang membahas mengenai pengembangan e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based*

Learning untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan penelitian mengenai pengembangan e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik SMA Negeri 5 Banjarmasin. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis tingkat validitas, kepraktisan dan keefektifan e-modul yang telah dikembangkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang berfokus pada pengembangan produk pembelajaran berupa modul elektronik berbasis TPACK dengan *Problem Based Learning* (PBL). Model pengembangan yang digunakan yaitu ADDIE. Model pengembangan ADDIE dikembangkan oleh *Dick and Carey* sebagai model untuk merancang sistem pembelajaran. Menurut Branch (2009), model ADDIE terdiri atas lima tahapan, yaitu *Analyze*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Model ADDIE merupakan model pengembangan yang menggambarkan tahapan secara sistematis dan berurutan. Model ini bertujuan untuk merancang serta mengembangkan suatu produk agar efektif dan efisien digunakan (Yuliana et al., 2023). Tahapan pengembangan dengan menggunakan model ADDIE dapat digambarkan dalam bentuk bagan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pengembangan model ADDIE

Subjek penelitian ini terdiri dari validator, peserta didik kelas XI berjumlah 15 orang sebagai subjek uji coba perorangan dan uji coba kelompok kecil, serta peserta didik kelas X SMA Negeri 5 Banjarmasin yang berjumlah 36 orang sebagai subjek uji coba terbatas. Sementara itu, objek penelitian adalah e-modul berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* (PBL) serta instrumen penelitian yang digunakan. Instrumen yang digunakan meliputi (a) tes kemampuan berpikir kritis, dan (b) instrumen non-tes berupa lembar validasi ahli, angket respon, angket keterbacaan dan lembar observasi. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis deskriptif berdasarkan kategori atau kriteria kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan e-modul.

Analisis kevalidan e-modul dihitung menggunakan formula Aiken's V. Kemudian untuk menginterpretasikan nilai validitas yang diperoleh dari perhitungan diatas, maka digunakan pengkatagorian validitas yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria kevalidan e-modul

Statistik Skala Aiken's V	Kategori
$V \leq 0,40$	Kurang
$0,41 < V \leq 0,80$	Sedang
$0,81 < V$	Valid

(Aiken, 1985)

E-modul divalidasi berdasarkan empat aspek, yaitu aspek isi yang berhubungan dengan kesesuaian materi, aspek penyajian yang berkaitan dengan teknik penyampaian materi, aspek kebahasaan yang mencakup penggunaan serta pemilihan kata dan ketepatan istilah dalam e-modul, serta aspek media yang meliputi

tampilan visual, jenis huruf, video, dan kualitas grafis. Selain uji validitas, e-modul yang dikembangkan juga dilakukan uji kepraktisan melalui beberapa teknik pengumpulan data, seperti angket respon, angket keterbacaan dan lembar observasi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan e-modul yang dikembangkan (Adhiatma et al., 2025). Adapun klasifikasi tingkat kepraktisan e-modul digunakan sebagai dasar dalam menentukan kategori kepraktisan berdasarkan interval skor tertentu yang disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. Kriteria Hasil kepraktisan E-modul

Interval	Kriteria
$81\% \leq skor \leq 100\%$	Sangat praktis
$61\% \leq skor \leq 80\%$	Praktis
$41\% \leq skor \leq 60\%$	Cukup praktis
$21\% \leq skor \leq 40\%$	Tidak praktis

(Jayanti & Yuniarta, 2022)

Efektivitas e-modul diukur menggunakan instrumen tes kemampuan berpikir kritis berupa soal esai yang diberikan sebelum pembelajaran (*pretest*) dan setelah pembelajaran (*posttest*). Instrumen tes kemampuan berpikir kritis disusun berdasarkan indikator kemampuan berpikir kritis menurut Facione yang meliputi *interpretation, analysis, inference, evaluation, explanation, dan self-regulation*. Selanjutnya, hasil penilaian kemampuan berpikir kritis peserta didik dianalisis menggunakan uji normalitas gain (*N-gain*) untuk mengetahui tingkat keefektifan media pembelajaran. Hasil analisis *N-gain* kemudian diklasifikasikan berdasarkan kriteria yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria *N-gain*

Interval	Kriteria
$\langle g \rangle \geq 0,71$	Tinggi
$0,31 \leq \langle g \rangle < 0,70$	Sedang
$\langle g \rangle < 0,30$	Rendah

(Hake, 1999)

Hasil perolehan skor *N-gain* kemudian diinterpretasikan untuk menentukan tingkat peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik berdasarkan kriteria yang tercantum pada Tabel 4. Interpretasi ini digunakan untuk mengelompokkan kategori efektivitas e-modul, sehingga dapat diketahui apakah penggunaan media pembelajaran yang dikembangkan termasuk dalam kategori tidak efektif, kurang efektif, cukup efektif, atau efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Tabel 4. Kriteria keefektifan e-modul

Interval	Kriteria
$Skor > 76\%$	Efektif
$56\% \leq Skor \leq 75\%$	Cukup efektif
$40\% \leq Skor \leq 55\%$	Kurang efektif
$Skor < 40\%$	Tidak efektif

(Safitri et al., 2024)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengembangan dalam penelitian ini adalah e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* yang telah diuji coba pada peserta didik kelas X SMA Negeri 5 Banjarmasin. Penelitian pengembangan ini dilakukan dengan menggunakan model ADDIE yaitu analisis, desain, pengembangan,

implementasi dan evaluasi hasil yang dilakukan secara bertahap. Dalam e-modul yang dikembangkan memuat materi kontekstual yang didukung dengan gambar, video pembelajaran dan soal-soal latihan yang ditaukan dengan *platform* padlet serta soal evaluasi. E-modul yang dikembangkan dibuat menggunakan aplikasi Canva dan dipublikasikan melalui *software* Heyzine sehingga dapat diakses secara daring oleh peserta didik. Peserta didik juga dapat membukanya melalui berbagai mesin pencari (*Search Engine*) seperti *Google Chrome*, *Microsoft Edge*, maupun browser lainnya. Akses e-modul dapat dilakukan melalui tautan yang telah dibagikan atau dengan melakukan pemindaian QR code. Berikut ini merupakan tahapan-tahapan dalam proses pengembangan e-modul.

Tahap analisis

Tahap analisis dilakukan identifikasi kebutuhan pembelajaran melalui kegiatan observasi dan wawancara. Tahap ini berfokus pada pengkajian kebutuhan serta permasalahan yang dihadapi dalam proses pembelajaran (Siregar & Rhamayanti, 2025). Hasil analisis menunjukkan bahwa sekolah telah memiliki fasilitas yang memadai untuk mendukung pengembangan media pembelajaran. Proses pembelajaran saat ini masih didominasi penggunaan buku teks sebagai sumber utama, sehingga pemanfaatan media pembelajaran tambahan diperlukan untuk mengoptimalkan proses pembelajaran. Hal ini menjadi penting karena tidak semua materi dapat dipahami dengan mudah oleh peserta didik, terutama materi kimia yang melibatkan konsep-konsep abstrak, pemahaman konseptual, serta hubungan kuantitatif (Stott, 2023)

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, diketahui bahwa guru belum secara konsisten menerapkan model pembelajaran dalam kegiatan mengajar, sehingga proses pembelajaran belum berlangsung secara dua arah. Oleh karena itu, diperlukan pembelajaran yang berpusat pada peserta didik yang dapat menciptakan interaksi dua arah antara guru dan peserta didik melalui penerapan model pembelajaran yang sesuai, salah satunya *Problem Based Learning* (PBL) yang dapat mendorong keaktifan serta meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik (Nuraeni et al., 2025). Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan pengembangan media pembelajaran yang inovatif sebagai solusi, sehingga menjadi dasar penelitian berjudul “Pengembangan E-Modul Stoikiometri berbasis TPACK dengan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik SMA Negeri 5 Banjarmasin”.

Tahap desain

Tahap desain dilakukan untuk merancang produk yang dikembangkan, yaitu e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model Problem Based Learning (PBL) untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Tahap ini terdiri atas dua bagian, yaitu perancangan prototipe dan penyusunan instrumen penilaian (Yuliana et al., 2023). Hasil perancangan prototipe berupa e-modul yang memuat beberapa komponen utama, antara lain halaman sampul, prakata, daftar isi, daftar gambar, daftar video, daftar tabel, petunjuk penggunaan e-modul, peta konsep, capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, alur tujuan pembelajaran, deskripsi singkat materi, lembar kegiatan berbasis sintaks PBL, ringkasan materi, lembar kerja, lembar evaluasi, daftar pustaka, glosarium, dan biodata penulis. Selain itu, desain materi disusun sesuai dengan silabus, desain e-modul disesuaikan dengan pendekatan TPACK, serta dilakukan pengumpulan dan pengolahan elemen pendukung seperti background, font, gambar, dan video animasi.

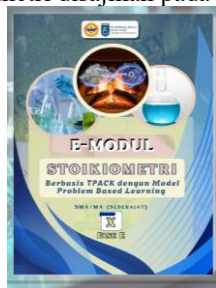
Tahap perancangan prototipe diawali dengan penyusunan outline e-modul yang mengacu pada unsur-unsur penyusunan modul menurut Prastowo (2014), yang

meliputi judul, petunjuk belajar, kompetensi yang akan dicapai, informasi pendukung, latihan, lembar kerja, dan evaluasi. Namun, dalam pengembangan ini dilakukan modifikasi dengan menambahkan beberapa komponen lain seperti manfaat e-modul, peta konsep, video pembelajaran, rangkuman, glosarium, dan daftar pustaka agar e-modul yang dihasilkan lebih lengkap, sistematis, dan terstruktur.

Hasil rancangan instrumen penilaian berupa lembar validasi oleh validator yang mencakup aspek kelayakan isi, kelayakan penyajian, kelayakan kebahasaan, dan kelayakan media. Instrumen yang dikembangkan dalam penelitian ini meliputi tes kemampuan berpikir kritis, RPP yang disusun dalam bentuk modul ajar kurikulum merdeka, angket keterbacaan, angket respon, lembar observasi. Seluruh instrumen tersebut disusun berdasarkan kebutuhan penelitian dan mengacu pada instrumen yang relevan serta telah dikonsultasikan dengan dosen pembimbing.

Tahap pengembangan

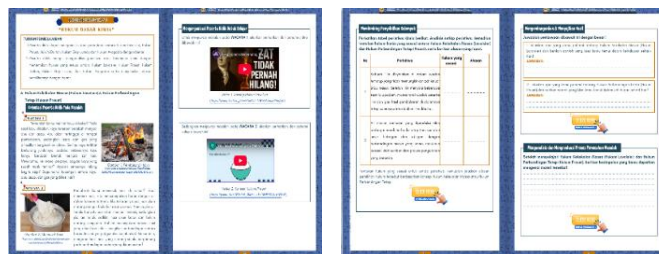
Pada tahap ini dilakukan proses pengembangan e-modul yang meliputi pembuatan produk, validasi oleh ahli, serta revisi berdasarkan hasil penilaian validator. E-modul kimia yang dikembangkan disusun dalam beberapa kegiatan pembelajaran, yaitu Kegiatan Pembelajaran 1 yang membahas hukum dasar kimia dan Kegiatan Pembelajaran 2 yang membahas konsep mol. E-modul yang dihasilkan terdiri atas 19 bagian, yaitu halaman sampul, prakata, daftar isi, daftar gambar, daftar video, daftar tabel, petunjuk penggunaan e-modul, peta konsep, capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, alur tujuan pembelajaran, deskripsi singkat materi, lembar kegiatan berbasis sintaks PBL, ringkasan materi, lembar kerja, lembar evaluasi, daftar pustaka, glosarium, dan biodata penulis. Produk e-modul yang dihasilkan berbentuk halaman web yang dapat diakses melalui jaringan internet, serta dilengkapi dengan QR code untuk memudahkan akses pengguna terhadap e-modul. Tampilan awal e-modul stoikiometri disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan halaman sampul e-modul

Halaman materi pada e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model PBL disusun secara sistematis sesuai alur capaian pembelajaran. Materi diawali dengan permasalahan kontekstual dari kehidupan sehari-hari untuk mengarahkan dan menumbuhkan rasa ingin tahu peserta didik. Selanjutnya, materi dikembangkan secara bertahap mencakup hukum dasar kimia, konsep mol, serta hubungan mol dengan massa, jumlah partikel, dan volume gas pada kondisi tertentu, sehingga antar konsep saling terintegrasi dan mudah dipahami secara menyeluruh. Sintaks pembelajaran dalam e-modul ini mengikuti tahapan PBL yang terintegrasi dengan pendekatan TPACK, dimulai dari orientasi masalah, pengorganisasian peserta didik dalam memahami materi, kegiatan penyelidikan melalui lembar aktivitas berbasis indikator berpikir kritis, hingga tahap penyajian hasil, evaluasi, dan penarikan kesimpulan. Rangkaian tahapan ini dirancang untuk meningkatkan keterlibatan aktif peserta didik serta mengembangkan kemampuan berpikir kritis secara terarah dan sistematis (Situmorang & Laksono, 2025). Berikut halaman materi dan sintaks

pembelajaran disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Halaman materi dan sintak PBL

Halaman lembar kerja pada e-modul ini dirancang untuk memfasilitasi kegiatan pembelajaran berbasis PBL dalam melatih kemampuan berpikir kritis peserta didik. Lembar kerja ini bertujuan membantu peserta didik dalam mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, melakukan perhitungan stoikiometri, serta menarik kesimpulan secara sistematis berdasarkan konsep yang dipelajari. Selain itu, terdapat lembar evaluasi yang disusun untuk mengukur pemahaman peserta didik terhadap materi yang telah dipelajari. Lembar evaluasi disajikan dalam bentuk soal berbasis wacana kontekstual yang dilengkapi dengan gambar pendukung, kemudian diikuti dengan pertanyaan analisis dan perhitungan yang mengacu pada konsep stoikiometri. Tampilan halaman lembar kerja dan lembar evaluasi disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Halaman lembar kerja dan lembar evaluasi

Produk yang telah dirancang dan dikembangkan selanjutnya divalidasi oleh para ahli untuk mengetahui kelayakan e-modul. Validator terdiri atas ahli materi, yaitu 4 dosen Pendidikan Kimia FKIP ULM dan 1 guru kimia SMA Negeri 5 Banjarmasin. Masukan dan saran dari validator digunakan sebagai dasar perbaikan e-modul sebelum dilanjutkan ke tahap uji coba lapangan. Adapun aspek yang dinilai dalam proses validasi meliputi kelayakan isi, kelayakan penyajian, kelayakan kebahasaan, dan kelayakan media. nilai hasil validasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi hasil validasi e-modul

No	Aspek penilaian	Nilai validasi
1	Kelayakan isi	0,94
2	Kelayakan penyajian	0,94
3	Kelayakan bahasa	0,93
4	Kelayakan media	1,00
	Rata-rata	0,95
	Kriteria validitas rata-rata seluruh aspek	Valid

Berdasarkan hasil validasi pada Tabel 5, e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* memperoleh nilai rata-rata validitas sebesar 0,95 dengan kategori sangat valid. Tingginya nilai validitas menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan telah memenuhi aspek kelayakan isi, penyajian, kebahasaan, dan media sehingga layak digunakan dalam proses pembelajaran. Tingkat validitas yang tinggi menunjukkan bahwa seluruh komponen e-modul telah

disusun secara sistematis sesuai dengan tujuan pembelajaran, karakteristik peserta didik, serta prinsip pengembangan bahan ajar digital. Hasil ini sejalan dengan Fauziah et al (2024) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* memiliki tingkat validitas yang tinggi karena mampu mengintegrasikan aspek materi, pedagogi, dan teknologi secara terpadu.

Aspek kelayakan isi memperoleh nilai validitas sebesar 0,94. Nilai tersebut menunjukkan bahwa materi yang disajikan telah sesuai dengan Capaian Pembelajaran (CP), tujuan pembelajaran, serta ruang lingkup materi stoikiometri pada Kurikulum Merdeka. Selain itu, materi disusun secara bertahap mulai dari hukum dasar kimia hingga konsep mol sehingga membantu peserta didik membangun pemahaman konsep secara berkesinambungan. Penyajian masalah kontekstual pada setiap kegiatan pembelajaran juga mendukung penerapan sintaks *Problem Based Learning* sehingga peserta didik tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mampu mengaitkannya dengan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari. Menurut Prastowo (2014), isi bahan ajar yang baik harus sesuai dengan kompetensi yang akan dicapai, sistematis, serta mampu membantu peserta didik memahami materi secara bertahap.

Aspek kelayakan penyajian memperoleh nilai validitas sebesar 0,94. Tingginya nilai tersebut menunjukkan bahwa penyajian e-modul telah disusun secara runtut, sistematis, dan mudah diikuti oleh peserta didik. E-modul memuat komponen yang lengkap, seperti petunjuk penggunaan, peta konsep, materi, lembar kegiatan berbasis sintaks PBL, latihan, evaluasi, glosarium, dan daftar pustaka. Selain itu, penyajian materi didukung dengan gambar, video pembelajaran, dan aktivitas interaktif yang membantu peserta didik memahami materi stoikiometri secara lebih menarik. Penyajian bahan ajar yang sistematis dan interaktif dapat meningkatkan motivasi belajar serta memudahkan peserta didik belajar secara mandiri (Delita et al., 2022).

Aspek kelayakan kebahasaan memperoleh nilai validitas sebesar 0,93, yang merupakan nilai terendah dibandingkan aspek lainnya, namun masih berada pada kategori sangat valid. Hal ini menunjukkan bahwa bahasa yang digunakan telah komunikatif, mudah dipahami, dan sesuai dengan tingkat perkembangan peserta didik. Meskipun demikian, validator masih memberikan beberapa masukan terkait konsistensi penggunaan istilah asing dan penyempurnaan redaksi beberapa kalimat agar lebih efektif. Oleh karena itu, dilakukan revisi berupa penggunaan huruf miring (*italic*) pada istilah berbahasa Inggris serta perbaikan struktur kalimat agar sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar. Bahasa yang jelas, komunikatif, dan sesuai dengan karakteristik peserta didik berperan penting dalam meningkatkan keterbacaan bahan ajar (Simanjuntak & Purba, 2025).

Aspek kelayakan media memperoleh nilai validitas tertinggi, yaitu 1,00. Hasil ini menunjukkan bahwa tampilan e-modul telah memenuhi kriteria media pembelajaran yang baik dari segi desain, tata letak, navigasi, dan kemudahan penggunaan. E-modul dikembangkan menggunakan Canva dan dipublikasikan melalui Heyzine dalam bentuk *flipbook* sehingga dapat diakses melalui berbagai perangkat menggunakan tautan maupun QR code. Selain itu, penggunaan kombinasi warna yang konsisten, tipografi yang jelas, gambar, video pembelajaran, serta tautan menuju aktivitas interaktif mampu meningkatkan daya tarik e-modul dan memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik bagi peserta didik. Menurut Masrida & Supiarti (2024), media pembelajaran digital yang memiliki tampilan menarik, mudah diakses, dan dilengkapi fitur interaktif dapat meningkatkan motivasi belajar serta mempermudah peserta didik dalam memahami materi.

Hasil validitas e-modul yang memperoleh nilai rata-rata Aiken V sebesar 0,95

menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan telah memenuhi kriteria sangat valid dan layak digunakan sebagai bahan ajar digital dalam pembelajaran kimia. Tingginya nilai validitas pada seluruh aspek menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi aspek kelayakan isi, penyajian, kebahasaan, dan media, sehingga mampu mengintegrasikan materi, strategi pembelajaran, dan teknologi secara efektif. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Fauziah et al (2024) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* pada materi laju reaksi memperoleh kategori sangat valid karena memenuhi aspek kelayakan isi, penyajian, kebahasaan, dan media. Temuan serupa juga dinyatakan oleh Ardiansyah & Yermadesi (2024) pada pengembangan e-modul berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* pada materi kesetimbangan kimia yang menunjukkan bahwa integrasi teknologi, pedagogi, dan materi mampu menghasilkan bahan ajar digital yang layak digunakan dalam pembelajaran.

Selama proses validasi, validator tidak hanya memberikan penilaian, tetapi juga menyampaikan berbagai saran sebagai dasar penyempurnaan e-modul. Perbaikan dilakukan pada aspek kelayakan isi melalui penyederhanaan petunjuk penggunaan, penambahan ringkasan materi pada setiap akhir pembelajaran, serta penyempurnaan wacana agar lebih sesuai dengan konsep hukum dasar kimia. Pada aspek penyajian, glosarium dipindahkan ke bagian akhir setelah daftar pustaka agar sistematika e-modul lebih terstruktur, sedangkan pada aspek kebahasaan dilakukan perbaikan penulisan istilah berbahasa Inggris menggunakan huruf miring (*italic*) sesuai kaidah penulisan. Revisi tersebut menunjukkan bahwa proses validasi tidak hanya berfungsi untuk menilai kualitas produk, tetapi juga menyempurnakan e-modul sehingga lebih sistematis, mudah dipahami, dan layak digunakan dalam pembelajaran. Hal ini sejalan dengan Branch (2009) yang menyatakan bahwa tahap *development* dalam model ADDIE melibatkan proses validasi dan revisi secara berulang untuk menghasilkan produk pembelajaran yang berkualitas.

Tahap implementasi

Tahap implementasi dilakukan penerapan e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model PBL kepada peserta didik untuk mengetahui tingkat kepraktisan dan keefektifan produk yang dikembangkan. Tahap ini dilaksanakan melalui uji coba perorangan, uji coba kelompok kecil, dan uji coba terbatas. Uji coba perorangan dilakukan kepada 5 orang peserta didik kelas XI SMA Negeri 5 Banjarmasin. Selanjutnya, uji coba kelompok kecil dilakukan kepada 10 orang peserta didik kelas XI SMA Negeri 5 Banjarmasin. Pada kedua tahap uji coba tersebut, peserta didik diberikan angket keterbacaan untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan, kejelasan materi, tampilan e-modul, serta keterpahaman bahasa yang digunakan dalam e-modul.

Setelah dilakukan revisi berdasarkan hasil uji coba sebelumnya, tahap berikutnya yaitu uji coba terbatas yang dilaksanakan pada peserta didik kelas X SMA Negeri 5 Banjarmasin dengan jumlah 36 orang peserta didik. Pada tahap ini, peserta didik diberikan angket keterbacaan dan angket respons peserta didik untuk mengetahui tingkat kepraktisan e-modul dalam proses pembelajaran. Selain itu, guru juga diberikan angket respons guru untuk mengetahui tanggapan guru terhadap penggunaan e-modul dalam pembelajaran stoikiometri. Dalam pelaksanaan uji coba terbatas, terdapat dua orang guru kimia yang bertindak sebagai observer. Observer diberikan lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran untuk mengamati kesesuaian pelaksanaan pembelajaran dengan sintaks yang telah direncanakan, serta lembar observasi kemampuan guru dalam menggunakan e-modul selama proses pembelajaran berlangsung. Hasil rekapitulasi hasil kepraktisan e-modul disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi hasil kepraktisan e-modul

No	Komponen Kepraktisan	Skor (%)	Keterangan
1	Angket Keterbacaan	93,32	Sangat Praktis
2	Angket Respon Peserta Didik	98,39	Sangat Praktis
3	Angket Respon Guru	100,00	Sangat Praktis
4	Lembar Observasi Kemampuan Guru Menggunakan E-modul	96,43	Sangat Praktis
5	Lembar Observasi Keterlaksanaan Pembelajaran	99,09	Sangat Praktis
	Rata-rata	97,43	Sangat Praktis

Berdasarkan hasil uji kepraktisan pada Tabel 6, e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* memperoleh rata-rata persentase sebesar 97,43% dengan kategori sangat praktis. Tingginya tingkat kepraktisan menunjukkan bahwa e-modul mudah digunakan oleh guru maupun peserta didik selama proses pembelajaran. Kepraktisan tersebut didukung oleh penyajian materi yang sistematis, tampilan yang menarik, navigasi yang mudah dipahami, serta integrasi berbagai media seperti gambar, video pembelajaran, dan aktivitas interaktif yang membantu peserta didik memahami konsep stoikiometri secara mandiri. Menurut Daryanto (2013), bahan ajar yang praktis adalah bahan ajar yang mudah digunakan, menarik, dan mampu membantu peserta didik mencapai tujuan pembelajaran secara efektif.

Komponen angket keterbacaan memperoleh persentase sebesar 93,32% dengan kategori sangat praktis. Hasil ini menunjukkan bahwa bahasa yang digunakan mudah dipahami, ukuran huruf dan tata letak nyaman dibaca, serta penyajian materi tersusun secara sistematis sehingga memudahkan peserta didik mengikuti setiap tahapan pembelajaran. Selain itu, penggunaan ilustrasi, gambar, dan video pembelajaran membantu memperjelas konsep-konsep stoikiometri yang bersifat abstrak sehingga meningkatkan keterbacaan e-modul. Hal ini sejalan dengan Delita et al (2022) yang menyatakan bahwa bahan ajar digital yang disajikan secara menarik dan komunikatif dapat meningkatkan kemudahan belajar peserta didik.

Komponen respons peserta didik memperoleh persentase sebesar 98,39%. Tingginya respons peserta didik menunjukkan bahwa e-modul mampu meningkatkan minat dan keterlibatan peserta didik selama pembelajaran. Penyajian masalah kontekstual sesuai sintaks *Problem Based Learning*, latihan berbasis indikator berpikir kritis, serta penggunaan Padlet sebagai media diskusi memberikan pengalaman belajar yang lebih aktif dan bermakna. Selain itu, peserta didik dapat mengakses e-modul melalui berbagai perangkat sehingga pembelajaran menjadi lebih fleksibel. Hasil ini sejalan dengan penelitian Fauziah et al (2024) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis TPACK dan *Problem Based Learning* mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik karena mengintegrasikan teknologi dengan aktivitas pembelajaran yang berpusat pada peserta didik.

Komponen respons guru memperoleh persentase 100%, yang menunjukkan bahwa e-modul dinilai sangat membantu dalam proses pembelajaran. Guru menilai bahwa materi telah sesuai dengan capaian pembelajaran, penyajian sintaks *Problem Based Learning* mudah diterapkan, serta fitur-fitur yang tersedia mendukung pelaksanaan pembelajaran secara lebih efektif. Selain itu, e-modul juga memudahkan guru dalam menyampaikan materi karena seluruh komponen pembelajaran telah tersusun secara lengkap dalam satu media. Menurut Ardiansyah & Yermadesi (2024) integrasi TPACK dalam pengembangan e-modul dapat membantu guru mengelola pembelajaran dengan lebih efektif melalui pemanfaatan teknologi yang sesuai dengan materi dan strategi pembelajaran.

Komponen observasi kemampuan guru menggunakan e-modul memperoleh

persentase 96,43%. Hasil ini menunjukkan bahwa guru mampu menggunakan e-modul dengan baik selama proses pembelajaran. Kemudahan akses melalui tautan dan *QR code*, navigasi yang sederhana, serta tampilan antarmuka yang intuitif membuat guru tidak mengalami kesulitan dalam mengoperasikan e-modul. Kemampuan guru dalam memanfaatkan media digital merupakan salah satu faktor yang mendukung keberhasilan implementasi pembelajaran berbasis teknologi (Koehler et al., 2014).

Komponen observasi keterlaksanaan pembelajaran memperoleh persentase 99,09%, yang menunjukkan bahwa proses pembelajaran telah terlaksana sesuai dengan sintaks *Problem Based Learning* yang dirancang dalam e-modul. Setiap tahapan pembelajaran, mulai dari orientasi masalah, pengorganisasian peserta didik, penyelidikan, penyajian hasil, hingga evaluasi, dapat dilaksanakan dengan baik sehingga pembelajaran berlangsung secara sistematis dan berpusat pada peserta didik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa e-modul tidak hanya mudah digunakan, tetapi juga mampu mendukung implementasi model pembelajaran sesuai dengan tujuan pengembangannya. Hal ini sejalan dengan Arends (2012) yang menyatakan bahwa keterlaksanaan sintaks pembelajaran secara konsisten merupakan salah satu indikator keberhasilan penerapan model *Problem Based Learning*.

Tingginya tingkat kepraktisan e-modul pada penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Saputra et al (2023) yang menunjukkan bahwa e-modul berbasis *Problem Based Learning* memperoleh kategori sangat praktis karena mudah digunakan oleh peserta didik maupun guru selama proses pembelajaran. Selain itu, Fauziah et al (2024) juga melaporkan bahwa integrasi TPACK dalam e-modul memberikan kemudahan bagi peserta didik dalam mengakses materi, memahami konsep, dan mengikuti kegiatan pembelajaran secara mandiri. Kesamaan hasil tersebut menunjukkan bahwa penyajian materi yang sistematis, tampilan yang menarik, dan penggunaan teknologi yang mudah diakses menjadi faktor penting yang mendukung kepraktisan e-modul.

Keefektifan e-modul diukur melalui hasil *pre-test* dan *post-test* kemampuan berpikir kritis peserta didik berdasarkan indikator kemampuan berpikir kritis menurut Facione. Peningkatan kemampuan berpikir kritis dianalisis menggunakan nilai *N-gain* yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil *N-gain* tiap indikator berpikir kritis

No	Indikator	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>N-gain</i>	Kategori
1	<i>Interpretation</i>	16,67	87,5	0,85	Tinggi
2	<i>Analyze</i>	10,76	84,17	0,82	Tinggi
3	<i>Inference</i>	11,94	66,67	0,62	Sedang
4	<i>Evaluation</i>	20,37	72,5	0,65	Sedang
5	<i>Explanation</i>	16,67	79,76	0,76	Tinggi
6	<i>Self-regulation</i>	15,97	81,53	0,78	Tinggi
	Rata-rata	15,39	78,68	0,80	Tinggi

Berdasarkan hasil analisis *N-gain*, diperoleh rata-rata sebesar 0,80 dengan kategori tinggi, yang menunjukkan bahwa penggunaan e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Peningkatan tersebut terjadi karena e-modul dirancang dengan mengintegrasikan sintaks *Problem Based Learning* dan pendekatan TPACK sehingga peserta didik tidak hanya mempelajari konsep stoikiometri, tetapi juga terlibat secara aktif dalam mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, menyelesaikan perhitungan, dan menarik kesimpulan berdasarkan permasalahan kontekstual. Kondisi ini sejalan dengan Arends (2012) yang menyatakan bahwa *Problem Based Learning* mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui kegiatan penyelidikan dan pemecahan masalah.

Indikator *interpretation* memperoleh nilai *N-gain* tertinggi sebesar 0,85

(kategori tinggi). Hasil ini menunjukkan bahwa peserta didik telah mampu mengidentifikasi informasi penting, memahami permasalahan yang disajikan, serta menghubungkan informasi tersebut dengan konsep stoikiometri. Peningkatan ini didukung oleh penyajian masalah kontekstual pada awal setiap kegiatan pembelajaran yang membantu peserta didik memahami konteks permasalahan sebelum melakukan penyelesaian. Menurut Facione (2015), kemampuan *interpretation* merupakan kemampuan memahami dan mengklarifikasi makna informasi sebagai dasar dalam proses berpikir kritis.

Indikator analysis juga memperoleh kategori tinggi dengan nilai N-gain sebesar 0,82. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peserta didik mampu menguraikan informasi, mengidentifikasi hubungan antar konsep, serta menentukan langkah penyelesaian masalah stoikiometri secara sistematis. Peningkatan ini didukung oleh kegiatan penyelidikan dalam sintaks *Problem Based Learning*, yang memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menganalisis data dan mendiskusikan alternatif penyelesaian bersama anggota kelompok. Hal ini sesuai dengan pendapat Facione (2015) bahwa kemampuan analisis berkembang ketika peserta didik dilatih mengidentifikasi hubungan logis antar informasi sebelum mengambil keputusan.

Indikator inference memperoleh nilai N-gain sebesar 0,62 dengan kategori sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa kemampuan peserta didik dalam menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis masih memerlukan penguatan. Pada materi stoikiometri, peserta didik tidak hanya dituntut melakukan perhitungan dengan benar, tetapi juga menghubungkan hasil perhitungan tersebut dengan konsep kimia yang mendasarinya sebelum menyusun suatu kesimpulan. Proses ini memerlukan kemampuan penalaran yang lebih kompleks dibandingkan sekadar memahami atau menganalisis informasi, sehingga peningkatannya relatif lebih rendah. Menurut Facione (2015), kemampuan *inference* merupakan kemampuan membentuk kesimpulan yang logis berdasarkan bukti yang tersedia dan memerlukan latihan yang berkelanjutan agar berkembang secara optimal.

Indikator evaluation memperoleh nilai N-gain sebesar 0,65 dengan kategori sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa peserta didik masih mengalami kesulitan dalam menilai ketepatan prosedur penyelesaian, memeriksa kembali hasil perhitungan, serta memberikan alasan yang logis terhadap jawaban yang diperoleh. Kemampuan evaluasi termasuk keterampilan berpikir tingkat tinggi karena peserta didik harus mampu menilai keakuratan informasi, mempertimbangkan berbagai alternatif penyelesaian, dan memberikan justifikasi terhadap keputusan yang diambil. Oleh karena itu, peningkatan pada indikator ini cenderung lebih rendah dibandingkan indikator lainnya. Hal ini sesuai dengan Facione (2015) yang menyatakan bahwa kemampuan *evaluation* memerlukan proses refleksi dan penilaian kritis terhadap argumen maupun bukti yang digunakan dalam penyelesaian masalah.

Sementara itu, indikator explanation memperoleh nilai N-gain sebesar 0,76 dan self-regulation sebesar 0,78, keduanya berada pada kategori tinggi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa peserta didik telah mampu menjelaskan proses penyelesaian masalah secara runtut serta melakukan refleksi terhadap jawaban yang diperoleh. Kegiatan diskusi kelompok, presentasi hasil penyelidikan, dan tahap refleksi pada akhir pembelajaran memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengomunikasikan hasil pemikirannya sekaligus mengevaluasi pemahamannya sendiri. Menurut Facione (2015), kemampuan *explanation* dan *self-regulation* berkembang melalui aktivitas yang mendorong peserta didik mengemukakan alasan serta melakukan refleksi terhadap proses berpikirnya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan e-modul berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* efektif meningkatkan

kemampuan berpikir kritis peserta didik, yang ditunjukkan oleh nilai N-gain sebesar 0,80 dalam kategori tinggi. Meskipun demikian, peningkatan pada indikator *inference* dan *evaluation* masih lebih rendah dibandingkan indikator lainnya, yang menunjukkan bahwa kemampuan menarik kesimpulan dan mengevaluasi suatu penyelesaian memerlukan latihan yang lebih intensif dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Ardiansyah & Yerimadesi (2024) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* mampu meningkatkan hasil belajar dan keterampilan berpikir peserta didik melalui pembelajaran yang berpusat pada peserta didik. Temuan serupa juga ditemukan oleh Fauziah et al (2024), Mahendra et al (2023), dan Saputra et al (2023) yang menunjukkan bahwa penerapan e-modul berbasis *Problem Based Learning* efektif meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan berpikir peserta didik melalui penyelesaian masalah kontekstual. Kesamaan hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi TPACK dengan model *Problem Based Learning* mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih aktif, bermakna, dan mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik.

Tahap evaluasi

Hasil evaluasi pada tahap validasi dan uji coba terbatas menunjukkan bahwa e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* telah memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif sehingga layak digunakan sebagai media pembelajaran kimia. Kelayakan tersebut didukung oleh hasil validitas yang menunjukkan bahwa isi, penyajian, kebahasaan, dan media telah sesuai dengan tujuan pembelajaran, hasil kepraktisan yang menunjukkan bahwa e-modul mudah digunakan oleh guru maupun peserta didik, serta hasil keefektifan yang menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik dengan nilai N-gain kategori tinggi. Dengan demikian, proses pengembangan menggunakan model ADDIE menghasilkan produk yang tidak hanya memenuhi standar kualitas sebagai bahan ajar digital, tetapi juga mampu mendukung proses pembelajaran secara optimal. Branch (2009) menyatakan bahwa tahap evaluasi dalam model ADDIE bertujuan memastikan bahwa produk yang dikembangkan telah memenuhi tujuan pengembangan dan layak untuk diimplementasikan dalam pembelajaran.

Selain layak digunakan pada materi stoikiometri, e-modul yang dikembangkan memiliki peluang untuk diterapkan pada materi kimia lainnya yang memiliki karakteristik serupa, seperti larutan penyangga, kesetimbangan kimia, maupun laju reaksi yang juga memerlukan pemahaman konseptual dan penyelesaian masalah. Integrasi TPACK dengan model *Problem Based Learning* memungkinkan e-modul digunakan sebagai alternatif bahan ajar digital yang mendukung pembelajaran berpusat pada peserta didik serta meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Namun, implementasi e-modul ini masih terbatas pada satu sekolah dan satu materi pembelajaran sehingga diperlukan penelitian lanjutan pada jenjang pendidikan, karakteristik peserta didik, dan materi kimia yang berbeda untuk menguji konsistensi efektivitasnya. Temuan ini sejalan dengan Saputri et al (2025) yang menyatakan bahwa pengembangan bahan ajar digital perlu diuji pada konteks pembelajaran yang lebih luas agar manfaatnya dapat diketahui secara lebih komprehensif.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa e-modul stoikiometri berbasis TPACK dengan model *Problem Based Learning* (PBL) dinyatakan valid dengan rata-rata validitas sebesar 0,95 berdasarkan aspek kelayakan isi, penyajian, bahasa, dan media. E-modul yang dikembangkan juga tergolong sangat praktis dengan rata-rata kepraktisan sebesar

97,43%, yang didukung oleh hasil angket keterbacaan, respon peserta didik, respon guru, observasi kemampuan guru dalam menggunakan e-modul, serta observasi keterlaksanaan pembelajaran. Selain itu, e-modul dinyatakan efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik berdasarkan nilai N-gain pre-test dan post-test sebesar 0,80 dengan kategori tinggi.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena uji coba dilakukan hanya pada satu sekolah dengan materi stoikiometri sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan pada materi kimia maupun karakteristik peserta didik yang lebih beragam. Meskipun demikian, e-modul yang dikembangkan dapat menjadi alternatif bahan ajar digital yang mendukung pembelajaran kimia berbasis TPACK dan model *Problem Based Learning* untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan e-modul pada materi kimia lainnya, melibatkan subjek penelitian yang lebih luas, serta menguji pengaruhnya terhadap kemampuan lain, seperti pemecahan masalah, kreativitas, atau literasi sains.

DAFTAR RUJUKAN

- Adhiatma, I. B. K., Sugiarta, I. M., & Mahayukti, G. A. (2025). Uji Validitas, Kepraktisan dan Efektivitas E-Modul Basikung untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa Kelas IX. *PYTHAGORAS: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 14(2), 295–308. <https://doi.org/10.33373/pyth.v14i2.7791>
- Anisa, A. R., Ipungkarti, A. A., & Saffanah, K. N. (2021). Pengaruh kurangnya literasi serta kemampuan dalam berpikir kritis yang masih rendah dalam pendidikan di Indonesia. *Current Research in Education: Conference Series Journal*, 1(1), 1–12. <https://ejournal.upi.edu/index.php/crecs/article/view/32685>
- Ardiansyah, N., & Yerimadesi, Y. (2024). Pengembangan E-Modul Kesetimbangan Kimia Berbasis Problem Based Learning Terintegrasi TPACK untuk Fase F. *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 6(1), 586–593. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v6i1.6362>
- Arends, R. I. (2012). *Learning to teach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. Springer.
- Daryanto. (2013). *Media pembelajaran: Peranannya sangat penting dalam mencapai tujuan pembelajaran*. Yogyakarta: Gava Media.
- Delita, F., Berutu, N., & Nofrion. (2022). Online Learning: The Effects of Using E-Modules on Self-Efficacy, Motivation and Learning Outcomes. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 23(4). <https://doi.org/10.17718/tojde.1182760>
- Djoeaeriah, N. D., & Iskandar, S. (2024). Implementation of the independent learning curriculum in 21st century learning. *Progres Pendidikan*, 5(1), 32–38. <https://doi.org/10.29303/prospek.v5i1.429>
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment. [Facione \(2015\) – Critical Thinking: What It Is and Why It Counts \(PDF\)](#)
- Fauziah, F., Yerimadesi, Y., & Guspatni, G. (2024). Efektivitas Modul Laju Reaksi Berbasis Problem Based Learning Terintegrasi TPACK terhadap Peningkatan Literasi Numerasi Peserta Didik Fase F. *JlIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(11), 13228–13233. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i11.6303>
- Fitriyawany, F. (2025). Uji Kepraktisan Pengembangan Bahan Ajar Fisika Berbentuk E-Modul berbasis TPACK dan PhET Simulation dalam Meningkatkan

- Literasi Digital Siswa SMA/MA di Kota Banda Aceh. *Desultana: Journal Education and Social Science*, 3(1), 31–40. <https://doi.org/10.69548/d-jess.v3i1.42>
- Husna, A., Ilmi, N., & Gusmaneli, G. (2025). Strategi Pembelajaran Berbasis Masalah dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Kajian Penelitian Pendidikan Dan Kebudayaan*, 2(2), 76–86. <https://doi.org/10.62383/katalis.v2i2.1532>
- Jayanti, A. D., & Yuniarta, T. N. H. (2022). Pengembangan Emometri (E-Modul Trigonometri) Dengan Project Based Learning Berbasis Steam. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 11(2), 1116. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v11i2.4881>
- Jibril, M., & Adedokun-Shittu, N. A. (2024). Enhancing education: A comprehensive framework for integrating technological pedagogical content knowledge (TPACK) into teaching and learning. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Research*, 4(1), 181–188. <https://doi.org/10.17509/ijomr.v4i1.72044>
- Juliyantika, T., & Batubara, H. H. (2022). Tren Penelitian Keterampilan Berpikir Kritis pada Jurnal Pendidikan Dasar di Indonesia. *Jurnal Basicedu*, 6(3), 4731–4744. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v6i3.2869>
- Khadijah, I., Nurhadi, M. W. J., Wijaya, A., Baiturrahman, R., Azahra, K. Z. F., & Hambali, M. S. (2025). Pengaruh Problem Based Learning terhadap kemampuan memecahkan masalah peserta didik. *Jurnal Pendidikan Indonesia: Teori, Penelitian, Dan Inovasi*, 5(4). <https://doi.org/10.59818/jpi.v5i4.1837>
- Khairani, N., Agustina, S., & Wiraningtyas, A. (2022). Pengaruh model pembelajaran berbasis masalah menggunakan strategi peta konsep untuk meningkatkan hasil belajar siswa kelas x sma muhammadiyah dena pada materi stoikiometri. *Jurnal Redoks: Jurnal Pendidikan Kimia Dan Ilmu Kimia*, 5(1), 16–20. <https://doi.org/10.33627/re.v5i1.753>
- Koehler, M. J., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T. S., & Graham, C. R. (2014). The technological pedagogical content knowledge framework. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (4th ed., pp. 101–111). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_9
- Mahendra, M. R., Enawaty, E., Junanto, T., Muharini, R., & Lestari, I. (2023). Efektivitas Penggunaan E-Modul Kimia Dasar Berbasis Problem Based Learning dalam Meningkatkan Kemampuan Memecahkan Masalah Mahasiswa pada Materi Termokimia. *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 15(2), 120–127. <https://doi.org/10.22437/jisic.v15i2.27826>
- Masrida, M., & Supiarti, T. (2024). Penggunaan E-Modul Berbasis Android untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa dalam Mata Pelajaran Kimia di SMKN 1 Bonai Darussalam. *EduSpirit: Jurnal Pendidikan Kolaboratif*, 01(04), 142–148. <https://journal.makwafoundation.org/index.php/eduspirit>
- Murtihapsari, M., Achmad, F., Larasati, C. N., & Yogaswara, R. (2022). Penggunaan Model Pembelajaran Problem Based Learning Terhadap Minat Hasil Belajar Kimia. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 4(2), 64–69. <https://doi.org/10.34312/jjec.v4i2.14050>
- Nuraeni, Y., Qanitah, N., Nawafil, L. E., Nurulfadhil, W. A. K., & Luthfi, M. (2025). Implementasi Problem Based Learning Di Sekolah Dasar: Tantangan Dan Strategi Mengatasi Siswa Pasif Dalam Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Sosial Dan Humaniora*, 4(3), 6130–6139.

- <https://publisherqu.com/index.php/pediaqu/article/view/2812>
- Prastowo, A. (2014). *Panduan Kreatif Membuat Bahan Ajar Inovatif*. Yogyakarta: Diva Press
- Rosmawaty, R., Ritonga, W. F. S., & Putri, A. D. (2026). Evaluasi Integratif Elemen Capaian Pembelajaran Fase E dalam Kerangka Implementasi Kurikulum Merdeka. *Jurnal Multidisiplin Ilmu Akademik*, 3(2), 735–742. <https://doi.org/10.61722/jmia.v3i2.9472>
- Safitri, M. N., Saadi, P., Bakti, I., & Iriani, R. (2024). Pengembangan E-Modul Berbantuan Komik Kimia dengan Model Problem Based Learning untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik pada Materi Laju Reaksi. *JCAE (Journal of Chemistry And Education)*, 8(1), 28–41. <https://doi.org/10.20527/jcae.v8i1.17373>
- Sandi, S., Syahri, W., & Gusti, D. R. (2025). Pengembangan E-Modul Berbasis Problem Based Learning pada Materi Konfigurasi Elektron untuk Meningkatkan Keterampilan Berfikir Kritis Siswa. *JiIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 8(4), 4054–4060. <https://doi.org/10.54371/jiip.v8i4.7726>
- Salame, I. I., Kanishka, H., & Ishak, A. (2026). Examining challenges and difficulties students face in learning about stoichiometry in general chemistry courses. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 22(1), e2604. <https://doi.org/10.29333/ijese/16173>
- Saputra, M. N., Kusasi, M., & Winarti, A. (2023). Pengembangan E-Modul Pembelajaran Kimia Asam-Basa Berbasis Model Problem Based Learning (PBL) Berkonteks Lahan Basah untuk Meningkatkan Literasi Sains. *JCAE (Journal of Chemistry And Education)*, 7(2), 110–123. <https://doi.org/10.20527/jcae.v7i2.16054>
- Saputri, S. E., Ramalisa, Y., Pasaribu, F. T., & Gurstiningsi, T. (2025). Pengembangan E-Modul Berbasis Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi Matematis Siswa. *Kognitif: Jurnal Riset HOTS Pendidikan Matematika*, 5(2), 947–960. <https://doi.org/10.51574/kognitif.v5i2.2345>
- Sari, I. K., Haryanto, H., & Naswir, N. (2025). Analisis Pelaksanaan Pembelajaran Kimia di SMA Kota Jambi: Studi Observasi Terkait Kesiapan Integrasi Pendidikan Kimia Berbasis Entrepreneurship. *Jurnal Perspektif Pendidikan*, 19(2), 482–496. <https://doi.org/10.31540/jpp.v19i2.3999>
- Sinaga, K. (2022). Mental Models in Chemistry: Prospective Chemistry Teachers' Mental Models of Chemical Equilibrium. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 11(2), 113–129. <https://doi.org/10.26740/jpps.v11n2.p113-129>
- Siregar, T., & Rhamayanti, Y. (2025). Implementasi pengembangan model ADDIE pada dunia pendidikan. *Jurnal Hasil Penelitian Dan Pengembangan (JHPP)*, 3(2), 85–100. <https://doi.org/10.61116/jhpp.v3i2.561>
- Situmorang, S. S., & Laksono, E. W. (2025). Penerapan Problem-based Learning terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Keaktifan Belajar Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13(Special_issue), 283–294. https://doi.org/10.21831/jpms.v13ispecial_issue.89598
- Stott, A. E. (2023). Epistemological lessons from inconsistencies in teachers' errors related to use of the mole ratio in stoichiometry calculations: A cue for professional development. *Journal of Chemical Education*, 100(7), 2548–2557. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01135>
- Stott, A. E. (2023). The efficacy of instruction in application of mole ratios and submicro-and macro-scopic equivalent forms of the mole within the unit

- factor method. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(2), 551-566. <https://doi.org/10.1039/D2RP00283H>
- Susanti, M., Suyanto, S., Jailani, J., & Retnawati, H. (2023). Problem-Based Learning for Improving Problem-Solving and Critical Thinking Skills: A Case on Probability Theory Course. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 17(4), 507–525. <https://doi.org/10.11591/edulearn.v17i4.20887>
- Waruwu, A. B. C., & Sitinjak, D. (2022). Penggunaan Multimedia Interaktif dalam Meningkatkan Minat Belajar Siswa pada Pembelajaran Kimia. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 12(2), 298–305. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i2.589>
- Yuliana, V., Copriady, J., & Erna, M. (2023). Pengembangan E-Modul Kimia Interaktif Berbasis Pendekatan Saintifik Menggunakan Liveworksheets pada Materi Laju Reaksi. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 17(1), 1–12. <https://doi.org/10.15294/jipk.v17i1.32932>
- Zainuddin, M. (2024). Efektivitas model pembelajaran problem-based learning dalam meningkatkan pemahaman konsep kimia di sekolah menengah atas. *Jurnal Ilmiah IPA Dan Matematika (JIIM)*, 2(1), 17–22. <https://doi.org/10.61116/jiim.v2i1.468>