

Pengembangan E-modul Kimia Berbasis PBL dan Deep Learning pada Materi Termokimia

***Ezra Rohanauli Sitinjak, Ahmad Nasir Pulungan, Makharany Dalimunthe, Ekin Dwi Arif Kurniawan, Alfira Julian Pratiwi, Mutia Ardila, Rafidah Almira Samosir**

Prodi Pendidikan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Medan, Jalan. William Iskandar,
Pasar.V Medan Estate, Indonesia

*Correspondence e-mail:: ezrarohanaulisitinjak@gmail.com dan 081360532356

Diterima: Maret 2026; Revisi: Mei 2026; Diterbitkan: Juni 2026

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul kimia berbasis Problem-Based Learning (PBL) yang terintegrasi dengan pendekatan deep learning pada materi termokimia serta menganalisis kelayakan, kepraktisan, dan efektivitasnya. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development dengan model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate). Subjek penelitian adalah 32 siswa kelas XI SMA Negeri 17 Medan yang dipilih secara purposive sampling karena mewakili kemampuan akademik heterogen dan sesuai kebutuhan uji coba produk. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, angket respons siswa, serta tes hasil belajar pretest-posttest. Hasil penelitian menunjukkan e-modul berada pada kategori sangat layak untuk aspek media (86%) dan layak untuk aspek materi (73,38%). Respons siswa menunjukkan kategori praktis, sedangkan efektivitas ditunjukkan oleh nilai N-gain 0,71 (kategori tinggi). Temuan ini menegaskan bahwa integrasi PBL dan deep learning dalam bahan ajar digital mampu memperkuat pembelajaran bermakna, keterlibatan siswa, dan pemahaman konseptual pada materi kimia.

Kata Kunci: deep learning, e-modul, hasil belajar, problem based learning, termokimia

Development of a PBL- and Deep Learning-Based Chemistry E-Module on Thermochemistry

Abstract

This study aims to develop a chemistry e-module based on Problem-Based Learning (PBL) that integrates a deep learning approach into thermochemistry material, as well as to analyze its feasibility, practicality, and effectiveness. This study employs the Research and Development method using the 4D model (Define, Design, Develop, Disseminate). The subjects of the study were 32 eleventh-grade students at State High School 17 Medan, selected via purposive sampling because they represented a heterogeneous academic ability and met the requirements for product testing. Research instruments included an expert validation sheet, a student response questionnaire, and pretest-posttest learning outcome tests. The results of the study indicate that the e-module falls into the "highly suitable" category for the media aspect (86%) and the "suitable" category for the content aspect (73.38%). Student responses indicate the "practical" category, while effectiveness is demonstrated by an N-gain value of 0.71 (high category). These findings confirm that the integration of PBL and deep learning in digital instructional materials can enhance meaningful learning, student engagement, and conceptual understanding of chemistry content.

Keywords: e-module, deep learning, learning outcomes, problem based learning, thermochemistry

How to Cite: Sitinjak, E. R. ., Pulungan, A. N. ., Dalimunthe, M. ., Kurniawan, E. D. A. ., Pratiwi, A. J. ., Ardila, M. ., & Samosir, R. A. . (2026). Pengembangan E-modul Kimia Berbasis PBL dan Deep Learning pada Materi Termokimia. *Reflection Journal*, 6(1), 322-340. <https://doi.org/10.36312/4rgcf177>



<https://doi.org/10.36312/4rgcf177>

Copyright© 2026, Sitinjak et al

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) License.



PENDAHULUAN

Pembelajaran kimia pada abad ke-21 menuntut peserta didik tidak sekadar menguasai konsep secara teoritis, tetapi juga mampu memahami makna konsep secara mendalam serta menerapkannya pada berbagai situasi kehidupan nyata. Tuntutan tersebut muncul karena pembelajaran sains modern diarahkan untuk membangun kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, dan pengambilan keputusan berbasis ilmiah (Island et al., 2021). Keberhasilan pembelajaran kimia tidak hanya diukur melalui kemampuan menghafal konsep, tetapi juga melalui hasil belajar yang mencerminkan pemahaman konseptual, keterampilan analitis, serta kemampuan mengaitkan konsep dengan fenomena sehari-hari.

Materi termokimia merupakan salah satu topik kimia yang sering dianggap sulit oleh peserta didik karena memuat konsep-konsep abstrak seperti energi, perubahan entalpi, kalor reaksi, sistem dan lingkungan, serta reaksi eksoterm dan endoterm. Karakteristik materi yang abstrak menyebabkan banyak siswa mengalami kesulitan memahami hubungan antarkonsep secara utuh. Peserta didik cenderung menghafal rumus tanpa memahami makna ilmiah dari konsep yang dipelajari (Mahendra et al., 2023). Kesulitan tersebut berdampak pada rendahnya kemampuan siswa dalam menyelesaikan soal berbasis analisis maupun penerapan konsep pada konteks kehidupan nyata. Miskonsepsi juga masih sering ditemukan, terutama terkait konsep kalor dan suhu, tanda positif-negatif perubahan entalpi, serta interpretasi reaksi eksoterm dan endoterm (Novita & Winda, 2025).

Permasalahan pembelajaran termokimia semakin kompleks karena proses pembelajaran di sekolah masih didominasi pendekatan *teacher centered learning*. Guru menjadi sumber utama informasi, sedangkan peserta didik lebih banyak menerima materi secara pasif. Penggunaan bahan ajar konvensional yang berorientasi pada teks dan latihan rutin membuat proses pembelajaran kurang menarik serta belum mampu memfasilitasi keterampilan berpikir tingkat tinggi siswa. Kondisi tersebut menyebabkan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran relatif rendah dan pemahaman konsep belum terbentuk secara optimal (Novita & Winda, 2025). Situasi ini menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran yang mampu meningkatkan partisipasi aktif siswa sekaligus mendukung pembelajaran yang lebih bermakna.

Pemanfaatan bahan ajar digital berupa e-modul dapat menjadi salah satu alternatif solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut. E-modul merupakan bahan ajar elektronik yang dirancang secara sistematis dan interaktif sehingga dapat digunakan secara mandiri oleh peserta didik. Penggunaan e-modul memungkinkan proses pembelajaran berlangsung lebih fleksibel, menarik, dan kontekstual dibandingkan bahan ajar cetak konvensional. Integrasi multimedia seperti gambar, video, animasi, dan latihan interaktif juga mampu membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak dalam pembelajaran kimia (Mahendra et al., 2023). Karakteristik e-modul yang mudah diakses melalui perangkat digital sesuai dengan kebiasaan belajar peserta didik pada era teknologi saat ini.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rendahnya pemahaman konsep kimia sering dipengaruhi oleh pendekatan pembelajaran yang kurang kontekstual dan minim keterlibatan aktif siswa. Model *Problem Based Learning* (PBL) menjadi salah satu pendekatan yang dinilai efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sains. Model ini menempatkan masalah nyata sebagai titik awal pembelajaran sehingga siswa terdorong untuk berpikir kritis, melakukan investigasi, berdiskusi, dan menemukan solusi terhadap permasalahan yang diberikan. Penelitian terdahulu melaporkan bahwa penerapan PBL mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kemampuan pemecahan masalah, serta keterlibatan siswa dalam pembelajaran kimia (Alvionita, 2025).

Pendekatan deep learning juga memiliki peran penting dalam pembelajaran abad ke-21 karena menekankan pemahaman konseptual secara mendalam melalui refleksi dan pengaitan konsep dengan situasi nyata. Pendekatan ini tidak hanya berorientasi pada kemampuan mengingat informasi, tetapi juga menekankan kemampuan memahami hubungan antarkonsep dan penerapan pengetahuan secara bermakna. Karakteristik tersebut sangat relevan dengan materi termokimia yang menuntut kemampuan analitis dan pemahaman konsep yang kuat. Pembelajaran berbasis deep learning dapat membantu siswa membangun pengalaman belajar yang lebih reflektif, kritis, dan kontekstual (Asmara & Septiani, 2023).

Integrasi Problem Based Learning dan pendekatan deep learning dipandang mampu menciptakan pembelajaran yang lebih efektif dan berpusat pada siswa. Aktivitas pemecahan masalah pada model PBL dapat mendorong siswa aktif membangun pengetahuan, sedangkan pendekatan deep learning membantu peserta didik memahami konsep secara lebih mendalam melalui kegiatan refleksi dan analisis. Kombinasi kedua pendekatan tersebut berpotensi meningkatkan hasil belajar siswa, khususnya pada materi kimia yang bersifat abstrak seperti termokimia. Pengintegrasian kedua pendekatan dalam bahan ajar digital juga dapat menghasilkan pengalaman belajar yang lebih interaktif, fleksibel, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran modern.

Kajian terhadap penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengembangan bahan ajar kimia berbasis digital yang mengintegrasikan PBL dan deep learning masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada implementasi model pembelajaran di kelas tanpa mengembangkan media pembelajaran yang secara khusus dirancang untuk mendukung penerapan model tersebut (Firmansyah & Febrianto, 2025). Penelitian mengenai PBL dalam pembelajaran kimia umumnya hanya menitikberatkan pada peningkatan hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis melalui pembelajaran tatap muka maupun praktikum laboratorium. Padahal, keberhasilan implementasi PBL juga dipengaruhi oleh ketersediaan bahan ajar dan scaffolding yang mendukung proses belajar siswa (Ferinda & Hidayat, 2026).

Keterbatasan penelitian juga terlihat pada penerapan pendekatan deep learning dalam pengembangan bahan ajar kimia digital. Sebagian besar studi terkait deep learning masih diterapkan pada mata pelajaran selain kimia atau hanya digunakan sebagai strategi pembelajaran umum tanpa integrasi sistematis dalam media pembelajaran (Julia et al., 2025). Penelitian pengembangan e-modul termokimia berbasis PBL memang telah dilakukan, tetapi integrasinya lebih banyak dikombinasikan dengan pendekatan STEM atau literasi sains dibandingkan pendekatan deep learning secara komprehensif (Pardosi & Dibyantini, 2025). Kesenjangan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan e-modul kimia yang secara simultan mengintegrasikan sintaks PBL dan prinsip-prinsip deep learning masih memerlukan kajian lebih lanjut.

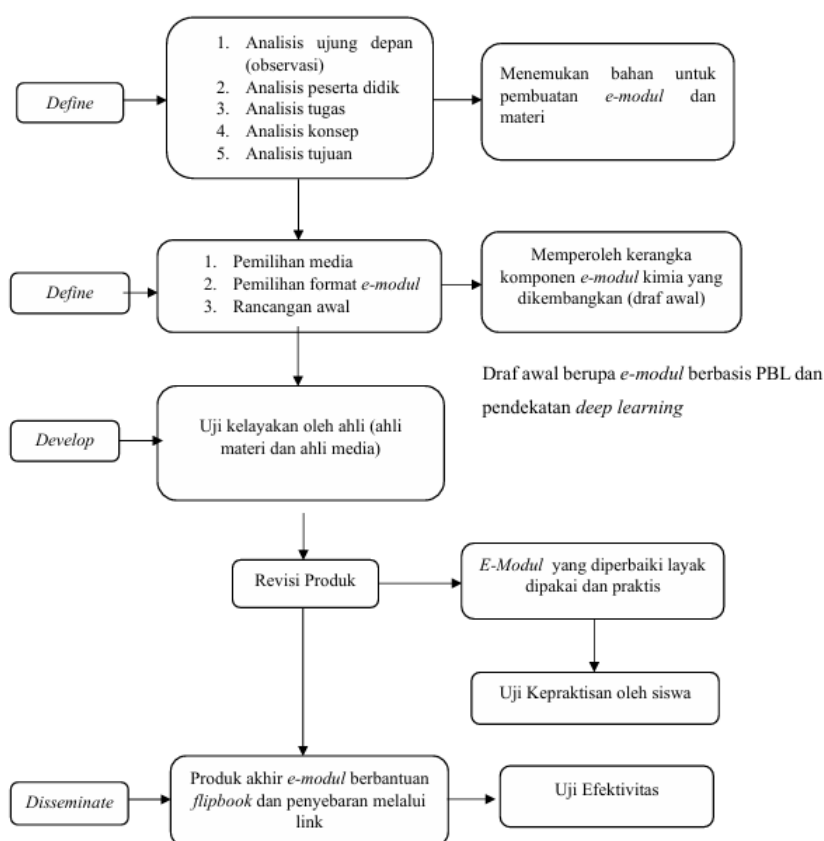
Pengembangan e-modul yang menggabungkan Problem Based Learning dan deep learning diharapkan mampu membantu peserta didik memahami konsep termokimia secara lebih mendalam, meningkatkan keterlibatan belajar, serta memperbaiki hasil belajar siswa. Integrasi kedua pendekatan tersebut juga berpotensi menghasilkan bahan ajar digital yang lebih interaktif dan sesuai dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan e-modul kimia berbasis Problem Based Learning dan deep learning pada materi termokimia serta menganalisis tingkat kelayakan, kepraktisan, dan efektivitasnya dalam meningkatkan hasil belajar siswa.

METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan produk berupa e-modul pembelajaran kimia berbasis PBL yang terintegrasi dengan pendekatan deep learning pada materi termokimia. Model

pengembangan yang digunakan adalah model 4D yang terdiri atas empat tahapan utama, yaitu define (pendefinisian), design (perancangan), develop (pengembangan), dan disseminate (penyebaran) (Rahmayani et al., 2025). Variabel yang diteliti meliputi kelayakan e-modul yang dinilai berdasarkan aspek isi, bahasa, dan penyajian; kepraktisan yang diukur melalui respons siswa terhadap kemudahan penggunaan, tampilan, dan manfaat; serta efektivitas yang ditentukan melalui peningkatan hasil belajar menggunakan analisis N-gain melalui pretest dan posttest. Adapun bagan alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Prosedur Penelitian

Adapun subjek dalam penelitian ini adalah siswa kelas XI SMA Negeri 17 Medan tahun ajaran 2025/2026. Sampel penelitian diambil dari satu kelas, yaitu kelas XI-D, yang terdiri dari 32 siswa dengan kemampuan akademik yang heterogen. Pemilihan kelas heterogen bertujuan agar e-modul yang dikembangkan dapat diuji pada peserta didik dengan tingkat kemampuan yang berbeda-beda. Dengan demikian, peneliti dapat mengetahui apakah e-modul dapat digunakan secara efektif untuk seluruh kategori peserta didik, bukan hanya siswa berkemampuan tinggi saja. Pemilihan sampel dilakukan menggunakan teknik purposive sampling. Teknik ini digunakan karena penelitian pengembangan tidak berorientasi pada generalisasi populasi, melainkan pada pengujian kelayakan dan keterterapan produk pada kelompok sasaran yang relevan. Kelas dipilih berdasarkan beberapa kriteria, yaitu memiliki kemampuan akademik heterogen, telah mempelajari konsep prasyarat termokimia, serta bersedia mengikuti seluruh rangkaian uji coba produk. Dengan demikian, pemilihan subjek dianggap representatif untuk mengevaluasi kualitas awal e-modul yang dikembangkan.

Tahap disseminate dilakukan untuk menyebarluaskan produk e-modul yang telah dinyatakan layak dan praktis setelah melalui proses validasi serta uji coba terbatas.

Produk akhir dikemas dalam format digital berbasis flipbook interaktif sehingga dapat diakses melalui perangkat komputer, laptop, maupun telepon genggam berbasis Android dan iOS. Pada tahap penyebaran, e-modul diperkenalkan kepada guru kimia di SMA Negeri 17 Medan sebagai bahan ajar alternatif untuk pembelajaran termokimia. Guru diberikan penjelasan mengenai isi e-modul, alur penggunaan, fitur interaktif, serta integrasi sintaks Problem Based Learning dan pendekatan Deep Learning di dalam produk. Uji penyebaran dilakukan secara terbatas pada kelas sasaran dengan meminta siswa menggunakan e-modul selama proses pembelajaran termokimia. Selama implementasi, peneliti mengamati kemudahan akses, keterlibatan siswa, kestabilan penggunaan media, dan kesesuaian waktu pembelajaran. Setelah penggunaan, siswa diminta memberikan umpan balik melalui angket respons dan wawancara singkat mengenai manfaat, kendala teknis, serta saran pengembangan lebih lanjut.

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas lembar observasi, lembar wawancara, instrumen non-tes yang meliputi lembar validasi ahli dan angket respon siswa serta instrumen tes yang terdiri dari 15 soal. Lembar observasi serta wawancara digunakan untuk tahap perancangan guna mendapatkan informasi mengenai permasalahan yang dialami guru dan siswa (Analisis Ujung Depan), analisis peserta didik, analisis tugas, analisis konsep, dan analisis tujuan pembelajaran. Lembar validasi digunakan untuk menilai kelayakan e-modul berdasarkan aspek isi, bahasa, dan penyajian yang mengacu pada standar Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP). Validasi ini dilakukan oleh dua validator ahli, yang terdiri dari 2 dosen kimia (1 dosen validasi ahli materi dan 1 dosen validasi ahli media) dari Universitas Negeri Medan. Angket respon siswa digunakan untuk mengukur tingkat kepraktisan e-modul berdasarkan kemudahan penggunaan, tampilan, dan manfaatnya dalam pembelajaran. Instrumen tes berupa soal pilihan ganda digunakan untuk mengetahui efektivitas dari hasil belajar siswa melalui pretest dan posttest

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Data hasil validasi ahli dianalisis menggunakan skala Likert untuk menentukan tingkat kelayakan e-modul berdasarkan kriteria tertentu (Ramdani & Setiadi, 2022). Data kepraktisan dianalisis berdasarkan hasil angket respon siswa untuk mengetahui tingkat kemudahan penggunaan dan daya tarik e-modul dalam pembelajaran (Munir et al., 2024). Sementara itu, data efektivitas dianalisis menggunakan perhitungan N-gain yang diperoleh dari hasil pretest dan posttest siswa. Nilai N-gain digunakan untuk mengukur peningkatan hasil belajar siswa setelah menggunakan e-modul, dengan kategori tinggi, sedang, dan rendah berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan Wahab et al., (2021).

$$NGain = \frac{\text{Skor Posttest} - \text{Skor pretest}}{\text{Skor Ideal} - \text{Skor pretest}}$$

Selain itu, analisis data juga mempertimbangkan aspek validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran, dan daya pembeda soal untuk memastikan kualitas instrumen yang digunakan dalam penelitian (Trianingsih, 2023). Hasil analisis data ini kemudian digunakan untuk menjawab rumusan masalah serta menentukan keberhasilan pengembangan e-modul dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada materi termokimia.

HASIL DAN DISKUSI

Tahap Pendefinisian (Define)

Tahap pendefinisian dilakukan sebagai langkah awal untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran serta permasalahan yang terjadi pada pembelajaran kimia, khususnya materi termokimia. Kegiatan pada tahap ini meliputi observasi proses pembelajaran, wawancara dengan guru kimia, telaah buku ajar, analisis karakteristik

peserta didik, analisis konsep, serta analisis tujuan pembelajaran. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh informasi yang komprehensif sebagai dasar dalam pengembangan e-modul berbasis Problem Based Learning (PBL) dan pendekatan deep learning.

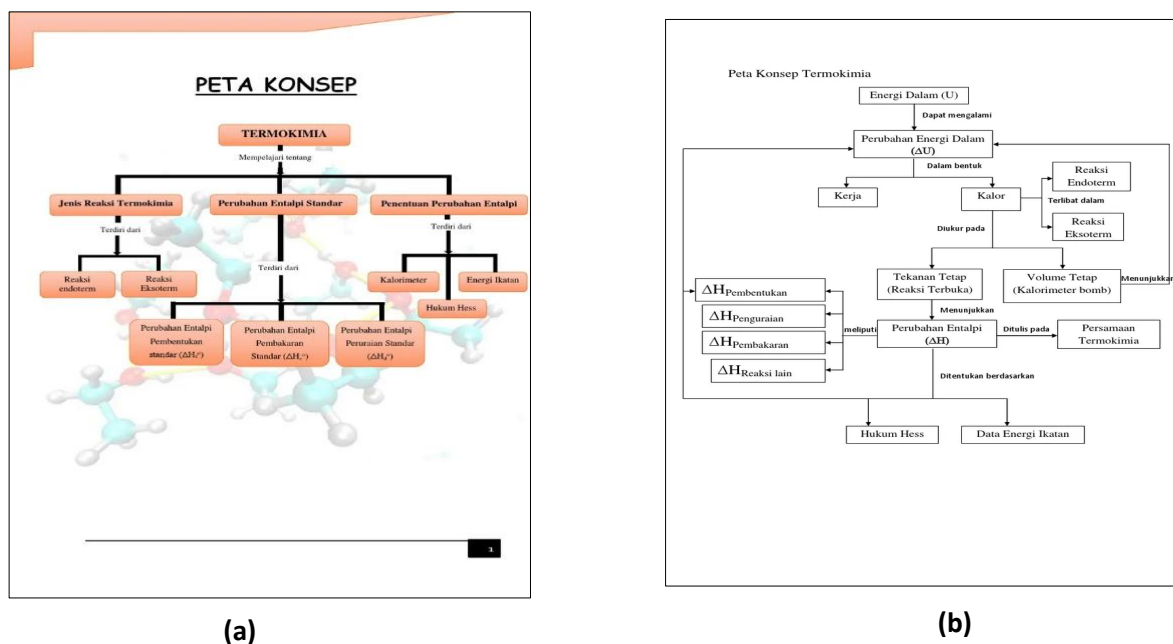
Hasil observasi menunjukkan bahwa materi termokimia masih dianggap sulit oleh sebagian besar peserta didik. Kesulitan tersebut muncul karena siswa cenderung mempelajari materi secara hafalan tanpa memahami hubungan konseptual antar materi. Peserta didik mengalami hambatan ketika harus menghubungkan konsep kalor, entalpi, dan perubahan energi dalam suatu reaksi kimia. Kondisi ini menyebabkan siswa kesulitan menyelesaikan soal yang bersifat analitis maupun kontekstual. Ketika diberikan soal berbasis masalah yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari, sebagian besar siswa belum mampu menentukan strategi penyelesaian yang tepat. Situasi tersebut menunjukkan bahwa pembelajaran yang berlangsung belum sepenuhnya mampu membangun pemahaman konseptual secara mendalam.

Wawancara dengan guru kimia menunjukkan bahwa proses pembelajaran masih didominasi metode ceramah dan penggunaan buku paket sebagai sumber utama pembelajaran. Aktivitas siswa selama pembelajaran cenderung pasif karena lebih banyak mendengarkan penjelasan guru dibandingkan melakukan eksplorasi konsep secara mandiri. Guru juga menyampaikan bahwa bahan ajar yang tersedia masih berfokus pada penyampaian teori dan latihan soal rutin sehingga belum mampu memfasilitasi keterampilan berpikir kritis maupun kemampuan pemecahan masalah siswa. Kondisi tersebut sejalan dengan pendapat Novita dan Winda (2025) yang menyatakan bahwa miskonsepsi dalam pembelajaran termokimia sering muncul akibat pendekatan pembelajaran yang terlalu berorientasi pada hafalan konsep.

Analisis peserta didik menunjukkan bahwa kemampuan akademik siswa dalam kelas bersifat heterogen. Sebagian siswa mampu memahami konsep dengan baik, sedangkan sebagian lainnya masih mengalami kesulitan dalam memahami hubungan antarkonsep termokimia. Kesulitan paling dominan ditemukan pada konsep perubahan entalpi, hukum Hess, dan perhitungan kalor reaksi. Meskipun demikian, siswa telah terbiasa menggunakan perangkat digital seperti smartphone dan laptop dalam aktivitas pembelajaran. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan bahan ajar digital berupa e-modul sesuai dengan karakteristik peserta didik dan berpotensi meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran.

Analisis tugas dilakukan dengan mengkaji capaian pembelajaran dan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) pada Kurikulum Merdeka. Tahap ini bertujuan untuk menentukan kompetensi yang harus dicapai siswa pada materi termokimia. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembelajaran termokimia tidak hanya menuntut kemampuan memahami konsep, tetapi juga kemampuan menganalisis fenomena energi dalam reaksi kimia serta menerapkan konsep tersebut dalam kehidupan sehari-hari. Kurikulum Merdeka menekankan pentingnya pengembangan kemampuan berpikir kritis, kolaboratif, dan reflektif sebagai bagian dari dimensi Profil Pelajar Pancasila (Sari et al., 2024). Analisis tersebut menjadi dasar dalam merancang aktivitas pembelajaran yang mendukung keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui integrasi PBL dan deep learning.

Analisis konsep dilakukan dengan menelaah buku kimia kelas XI yang digunakan di sekolah. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui keterkaitan antarkonsep serta menentukan urutan penyajian materi yang sistematis. Hasil analisis menunjukkan bahwa materi termokimia terdiri atas beberapa konsep utama, yaitu sistem dan lingkungan, reaksi eksoterm dan endoterm, perubahan entalpi, hukum Hess, energi ikatan, dan kalorimeter. Konsep-konsep tersebut saling berkaitan sehingga penyajian materi perlu dirancang secara bertahap mulai dari konsep dasar menuju konsep yang lebih kompleks agar siswa dapat membangun pemahaman secara sistematis.



Gambar 2. Peta Konsep Buku Ajar (a. Buku Penerbit Erlangga, b. Buku Penerbit Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi)

Hasil analisis tujuan pembelajaran menunjukkan bahwa perumusan tujuan dalam e-modul dilakukan menggunakan konsep ABCD yang meliputi Audience, Behavior, Condition, dan Degree (Agustin et al., 2023). Penerapan konsep tersebut bertujuan agar tujuan pembelajaran dapat dirancang secara jelas, spesifik, dan terukur sesuai dengan kompetensi yang harus dicapai peserta didik. Komponen Audience digunakan untuk menentukan subjek pembelajaran, yaitu peserta didik sebagai sasaran utama pembelajaran. Komponen Behavior berfokus pada kemampuan atau perilaku yang diharapkan muncul setelah siswa mengikuti proses pembelajaran. Selanjutnya, komponen Condition menjelaskan kondisi atau situasi yang mendukung ketercapaian tujuan pembelajaran, sedangkan komponen Degree digunakan untuk menentukan tingkat keberhasilan yang harus dicapai siswa. Penyusunan tujuan pembelajaran berdasarkan konsep ABCD membantu peneliti merancang materi, aktivitas belajar, dan evaluasi secara lebih sistematis sehingga seluruh komponen dalam e-modul saling terintegrasi.

Analisis tujuan pembelajaran juga menjadi dasar penting dalam menentukan bentuk kegiatan belajar yang sesuai dengan karakteristik materi termokimia. Aktivitas pembelajaran dirancang agar mampu mendorong keterlibatan aktif siswa melalui kegiatan analisis, pemecahan masalah, dan refleksi konsep. Penyusunan evaluasi pembelajaran juga disesuaikan dengan indikator kompetensi yang telah dirumuskan sehingga pengukuran hasil belajar dapat dilakukan secara tepat dan objektif.

Hasil tahap pendefinisian menunjukkan bahwa pembelajaran kimia memerlukan bahan ajar digital yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mampu menciptakan pembelajaran yang bermakna dan kontekstual. Kebutuhan tersebut muncul karena bahan ajar konvensional dinilai belum sepenuhnya mampu mendukung keterampilan berpikir kritis dan pemahaman konseptual siswa. Pengembangan e-modul berbasis Problem Based Learning (PBL) dan pendekatan deep learning dipandang relevan untuk menjawab kebutuhan tersebut karena mampu mengintegrasikan aktivitas pemecahan masalah, pembelajaran reflektif, serta pembelajaran mandiri dalam satu produk pembelajaran digital.

Tahap Perancangan (Design)

Tahap perancangan dilakukan untuk menghasilkan rancangan awal e-modul yang sesuai dengan kebutuhan peserta didik dan tujuan pembelajaran. Tahap ini meliputi penyusunan kerangka isi e-modul, perancangan tampilan media, integrasi sintaks PBL dan pendekatan deep learning, serta penyusunan instrumen penelitian. Tahap desain menjadi langkah penting karena menentukan struktur dan kualitas awal produk yang akan dikembangkan.

Materi e-modul disusun berdasarkan capaian pembelajaran pada Kurikulum Merdeka. Isi materi mencakup konsep sistem dan lingkungan, perubahan entalpi, hukum Hess, energi ikatan, serta kalorimeter. Penyajian materi dirancang secara sistematis mulai dari konsep sederhana menuju konsep yang lebih kompleks agar memudahkan siswa memahami hubungan antarkonsep termokimia. Penyusunan materi secara bertahap bertujuan membantu siswa membangun pemahaman konseptual yang lebih terstruktur.

Struktur e-modul terdiri atas halaman sampul, kata pengantar, petunjuk penggunaan, capaian pembelajaran, peta konsep, materi pembelajaran, kegiatan berbasis masalah, evaluasi, glosarium, daftar pustaka, dan profil penulis. Penyusunan struktur tersebut bertujuan agar e-modul dapat digunakan secara mandiri oleh peserta didik. Karakteristik self instructional menjadi salah satu keunggulan e-modul karena memungkinkan siswa belajar sesuai dengan kecepatan masing-masing.

Perancangan tampilan media dilakukan dengan memperhatikan aspek estetika dan kenyamanan pengguna. Peneliti menentukan desain visual berupa warna, jenis huruf, ukuran huruf, ilustrasi gambar, tata letak halaman, serta ikon navigasi yang sederhana dan mudah dipahami. Penggunaan desain yang menarik bertujuan meningkatkan motivasi belajar siswa tanpa mengurangi fokus terhadap isi materi. Pemanfaatan media digital yang interaktif juga dinilai mampu meningkatkan minat belajar siswa karena penyajian materi menjadi lebih atraktif (Pratiwi et al., 2023).

Integrasi Problem Based Learning dilakukan melalui penyajian masalah kontekstual pada setiap submateri. Masalah yang digunakan berkaitan dengan fenomena kehidupan sehari-hari sehingga mampu membangun keterkaitan antara konsep termokimia dengan situasi nyata. Aktivitas pembelajaran dalam e-modul dirancang sesuai sintaks PBL, yaitu orientasi masalah, pengumpulan informasi, diskusi kelompok, penyusunan solusi, dan presentasi hasil. Pendekatan ini mendorong siswa untuk aktif membangun pengetahuan melalui proses investigasi dan pemecahan masalah.

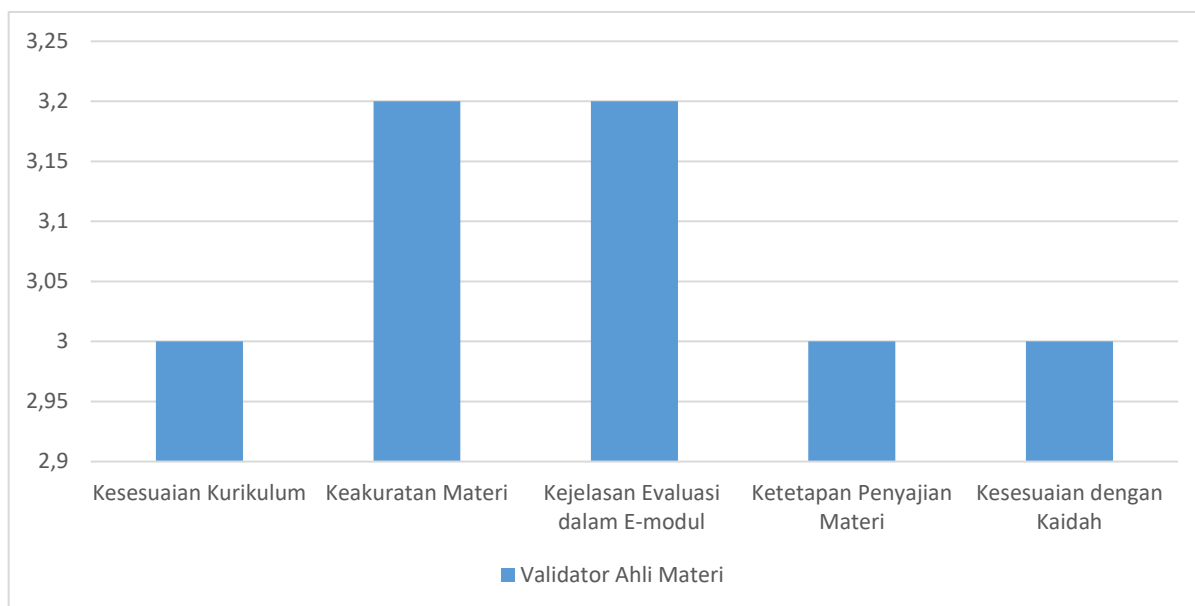
Pendekatan deep learning diintegrasikan melalui aktivitas refleksi, analisis konsep, dan pengaitan materi dengan kehidupan sehari-hari. Setiap akhir kegiatan pembelajaran disertai pertanyaan reflektif yang membantu siswa mengevaluasi pemahaman mereka terhadap materi yang dipelajari. Aktivitas tersebut bertujuan membentuk pembelajaran yang lebih bermakna dan mendalam. Integrasi deep learning dalam pembelajaran dinilai mampu meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa serta memperkuat pemahaman konseptual (Asmara & Septiani, 2023). Tahap perancangan juga mencakup penyusunan instrumen penelitian berupa lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media, angket respons siswa, dan tes hasil belajar. Instrumen tersebut dikembangkan berdasarkan indikator pembelajaran agar mampu mengukur kelayakan, kepraktisan, dan efektivitas e-modul secara tepat.

Tahap Pengembangan (Development)

Tahap pengembangan dilakukan dengan merealisasikan rancangan awal menjadi produk nyata berupa e-modul berbasis PBL dan deep learning. Tahap ini meliputi validasi ahli, revisi produk, uji coba terbatas, serta analisis kepraktisan dan efektivitas e-modul.

a. Validasi Ahli Materi

Validasi ahli materi bertujuan menilai kelayakan isi e-modul berdasarkan aspek kesesuaian kurikulum, keakuratan materi, kejelasan evaluasi, ketepatan penyajian, dan kesesuaian bahasa. Validasi dilakukan oleh dosen ahli materi dari Universitas Negeri Medan.



Gambar 3. Diagram Validasi Materi E-modul Berbasis PBL dan Pendekatan Deep Learning Termokimia

Hasil validasi ahli materi menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan dalam pembelajaran kimia pada materi termokimia. Penilaian terhadap aspek kesesuaian kurikulum memperoleh skor sebesar 3,0 yang menunjukkan bahwa isi materi dalam e-modul telah disusun sesuai dengan capaian pembelajaran pada Kurikulum Merdeka. Kesesuaian ini penting karena materi yang dikembangkan harus mampu mendukung pencapaian kompetensi peserta didik sesuai tuntutan kurikulum yang berlaku. Selain itu, aspek keakuratan materi memperoleh skor sebesar 3,2 yang mengindikasikan bahwa konsep-konsep yang disajikan dalam e-modul telah sesuai dengan prinsip dan teori ilmiah dalam pembelajaran kimia. Penyajian materi yang akurat sangat diperlukan agar siswa tidak mengalami miskonsepsi ketika mempelajari konsep-konsep termokimia yang bersifat abstrak.

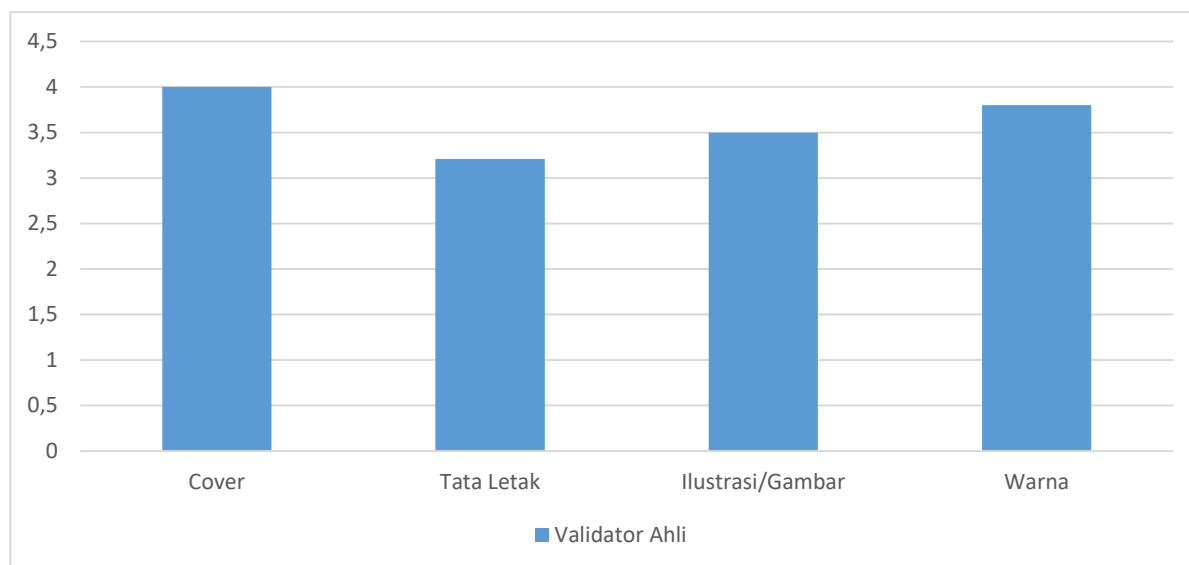
Aspek kejelasan evaluasi juga memperoleh skor sebesar 3,2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa soal evaluasi yang disajikan dalam e-modul telah mampu mengukur tingkat pemahaman siswa terhadap materi pembelajaran secara tepat. Soal evaluasi dirancang berdasarkan indikator pembelajaran sehingga dapat digunakan untuk mengetahui pencapaian hasil belajar peserta didik. Selanjutnya, aspek ketepatan penyajian materi memperoleh skor 3,0 yang menunjukkan bahwa penyusunan materi telah dilakukan secara sistematis dan mudah dipahami oleh siswa. Aspek kesesuaian bahasa juga memperoleh skor sebesar 3,0 yang menunjukkan bahwa bahasa yang digunakan dalam e-modul komunikatif, sesuai dengan kaidah penulisan, dan mudah dipahami peserta didik.

Hasil validasi ahli materi menunjukkan bahwa e-modul berada pada kategori layak digunakan dalam proses pembelajaran. Tingginya tingkat kelayakan tersebut menunjukkan bahwa materi dalam e-modul telah disusun secara sistematis sesuai kebutuhan belajar siswa. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ulul Albab et al. (2023)

yang menegaskan bahwa validasi ahli memiliki peran penting dalam menjamin kualitas bahan ajar sebelum diterapkan dalam pembelajaran.

b. Validasi Ahli Media

Validasi ahli media dilakukan untuk menilai kualitas tampilan dan desain media pembelajaran. Aspek yang dinilai meliputi cover, tata letak, ilustrasi gambar, dan warna.



Gambar 4. Diagram Validasi Media E-modul Berbasis PBL dan Pendekatan Deep Learning Termokimia

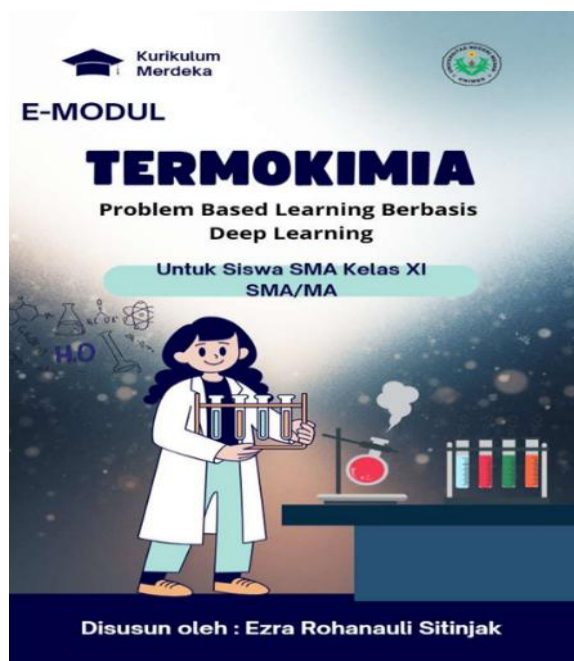
Hasil validasi ahli media menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan memiliki kualitas tampilan visual yang sangat baik dan layak digunakan dalam proses pembelajaran. Penilaian pada aspek cover memperoleh skor sebesar 4,0 dengan kategori sangat baik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa desain sampul e-modul dinilai menarik, representatif, dan mampu mencerminkan isi materi yang disajikan. Tampilan cover yang menarik menjadi salah satu faktor penting dalam meningkatkan perhatian dan minat awal siswa terhadap bahan ajar yang digunakan. Selain itu, aspek tata letak memperoleh skor sebesar 3,2 yang menunjukkan bahwa susunan komponen dalam e-modul telah disusun secara sistematis dan memudahkan siswa dalam mengikuti alur pembelajaran.

Aspek ilustrasi gambar memperoleh skor sebesar 3,5 yang menunjukkan bahwa penggunaan gambar dalam e-modul telah sesuai dengan materi pembelajaran serta mampu membantu siswa memahami konsep-konsep termokimia yang bersifat abstrak. Kehadiran ilustrasi visual membantu peserta didik menghubungkan konsep teori dengan representasi yang lebih konkret sehingga proses pembelajaran menjadi lebih mudah dipahami. Selanjutnya, aspek warna memperoleh skor sebesar 3,8 yang menunjukkan bahwa pemilihan warna dalam e-modul telah sesuai dan mampu menciptakan tampilan yang menarik tanpa mengurangi kenyamanan belajar siswa. Kombinasi warna yang tepat juga membantu meningkatkan fokus dan ketertarikan peserta didik selama menggunakan e-modul.

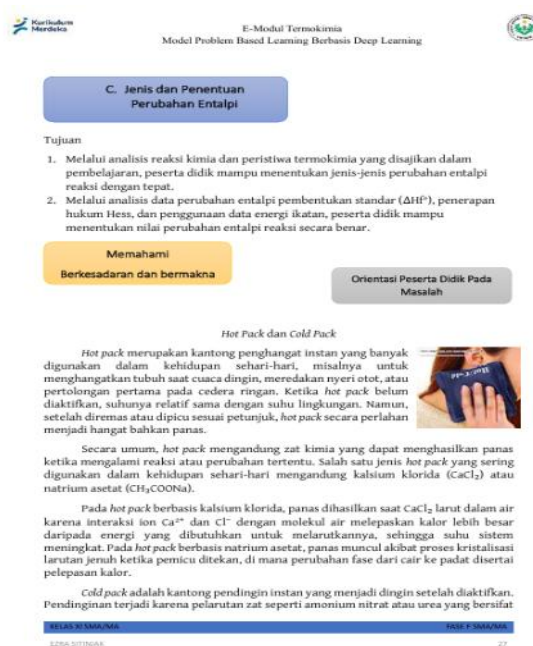
Secara keseluruhan, hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul memiliki tampilan visual yang interaktif, menarik, dan sesuai digunakan dalam pembelajaran kimia. Tampilan media yang baik memberikan pengalaman belajar yang lebih menyenangkan sehingga mampu meningkatkan motivasi belajar siswa. Penyajian materi secara visual dan interaktif membuat peserta didik lebih tertarik untuk mempelajari materi secara mandiri dibandingkan menggunakan bahan ajar konvensional yang cenderung bersifat monoton. Temuan ini sejalan dengan penelitian Hamidi et al. (2024) yang menyatakan bahwa bahan ajar digital berbasis multimedia mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran sains karena materi disajikan secara lebih atraktif dan interaktif.

c. Tampilan E-modul

Produk akhir e-modul dikembangkan dalam bentuk flipbook digital yang dapat diakses melalui smartphone maupun laptop. E-modul dilengkapi gambar, video pembelajaran, latihan soal interaktif, dan aktivitas berbasis masalah.



(a)



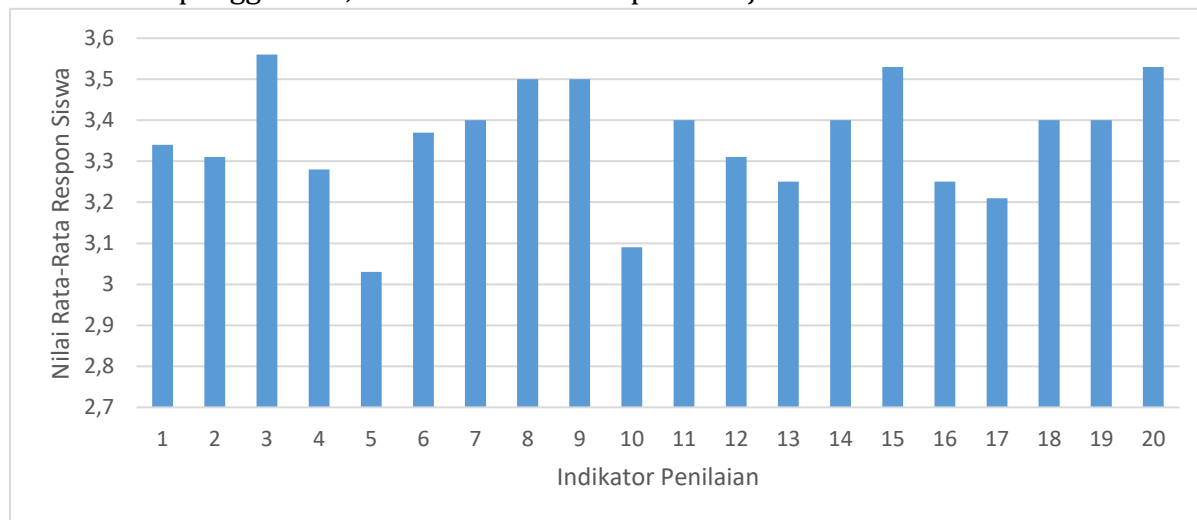
(b)

Gambar 5. Tampilan E-modul (a. Tampilan Sampul E-modul, b, Tampilan Isi Modul)

Penyajian materi secara visual dan interaktif membantu siswa memahami konsep termokimia yang bersifat abstrak. Penggunaan media digital juga membuat pembelajaran menjadi lebih fleksibel dan mendukung pembelajaran mandiri siswa.

d. Kepraktisan E-modul

Uji kepraktisan dilakukan melalui angket respons siswa setelah menggunakan e-modul dalam pembelajaran. Penilaian mencakup aspek tampilan, isi materi, manfaat, kemudahan penggunaan, dan efisiensi waktu pembelajaran.



Gambar 6. Diagram Nilai Kepraktisan E-modul Berbasis PBL dan Pendekatan Deep Learning Termokimia

Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh indikator memperoleh nilai rata-rata tinggi dengan rentang skor sekitar 3,0 hingga 3,6. Nilai tersebut menunjukkan bahwa siswa memberikan respons positif terhadap penggunaan e-modul. Tingginya tingkat kepraktisan dipengaruhi oleh desain media yang user friendly, tampilan menarik, serta kemudahan akses melalui perangkat digital.

Respon positif siswa menunjukkan bahwa e-modul mampu mendukung pembelajaran mandiri dan meningkatkan keterlibatan siswa selama proses pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan penelitian Jumraeni (2025) yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis multimedia dapat meningkatkan minat dan motivasi belajar siswa karena penyajian materi lebih interaktif.

e. Integrasi PBL dan Deep Learning

Integrasi PBL dan pendekatan deep learning terlihat pada penyajian masalah kontekstual dalam setiap kegiatan pembelajaran. Salah satu contoh yang digunakan adalah fenomena penggunaan hand sanitizer dalam kehidupan sehari-hari yang dikaitkan dengan konsep perubahan energi pada termokimia.



Gambar 7. Tampilan Integrasi PBL dan Deep Learning pada E-modul Termokimia

Permasalahan kontekstual tersebut mendorong siswa melakukan proses analisis, refleksi, dan pemecahan masalah secara aktif. Aktivitas pembelajaran dirancang agar siswa tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu menghubungkan konsep dengan situasi nyata. Pendekatan ini sesuai dengan karakteristik PBL yang menempatkan masalah sebagai titik awal pembelajaran (Hidayah et al., 2022).

Integrasi deep learning dalam e-modul juga terlihat melalui aktivitas reflektif yang membantu siswa mengevaluasi pemahaman mereka terhadap konsep termokimia. Pendekatan tersebut dinilai efektif dalam membangun pemahaman konseptual yang lebih mendalam dan mengurangi miskonsepsi siswa.

Tahap Penyebaran (Disseminate)

Tahap penyebaran dilakukan setelah e-modul dinyatakan layak dan praktis digunakan. Produk akhir dikemas dalam bentuk flipbook digital sehingga dapat diakses melalui perangkat Android, iOS, maupun komputer.



Gambar 10. Barcode E-modul

Format digital memungkinkan e-modul digunakan secara fleksibel baik dalam pembelajaran di kelas maupun pembelajaran mandiri di rumah. Penggunaan flipbook digital juga membuat penyajian materi lebih menarik dibandingkan bahan ajar cetak konvensional. Temuan ini sejalan dengan penelitian Pratiwi et al. (2023) yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis flipbook mampu meningkatkan motivasi belajar siswa karena tampilannya lebih interaktif.

Efektivitas e-modul dianalisis melalui perbandingan nilai pretest dan posttest siswa. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar setelah siswa menggunakan e-modul berbasis PBL dan deep learning.

Tabel 1. Nilai Rata-rata N-gain Kelas XI-D

Rata-rata Pretest	Rata-rata Posttest	N-Gain	Kategori
49,22	85,19	0,71	Tinggi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata pretest siswa sebesar 49,22 meningkat menjadi 85,19 pada posttest dengan nilai N-gain sebesar 0,71 yang termasuk kategori tinggi. Distribusi N-gain menunjukkan bahwa 17 siswa berada pada kategori tinggi dan 15 siswa berada pada kategori sedang. Tidak terdapat siswa dengan kategori rendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul kimia berbasis Problem Based Learning (PBL) dan pendekatan deep learning pada materi termokimia memenuhi kriteria layak, praktis, dan efektif digunakan dalam pembelajaran. Temuan tersebut menunjukkan bahwa integrasi model pembelajaran berbasis masalah dengan pendekatan pembelajaran mendalam mampu mendukung proses pembelajaran yang lebih bermakna dan berpusat pada siswa. Pengembangan e-modul tidak hanya berfungsi sebagai media penyampaian materi, tetapi juga sebagai sarana yang mampu memfasilitasi aktivitas berpikir kritis, refleksi, analisis, dan pemecahan masalah peserta didik.

Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa e-modul memiliki tingkat kelayakan yang tinggi baik dari aspek materi maupun media. Validasi ahli materi memperoleh persentase sebesar 73,38% dengan kategori layak, sedangkan validasi ahli media memperoleh persentase sebesar 86% dengan kategori sangat layak. Tingginya tingkat kelayakan tersebut menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi standar kualitas bahan ajar berdasarkan aspek isi, penyajian, bahasa, dan desain media. Penyusunan materi yang sistematis mulai dari konsep dasar hingga konsep yang lebih kompleks membantu siswa memahami hubungan antarkonsep termokimia secara bertahap. Karakteristik tersebut penting karena materi termokimia termasuk topik kimia yang bersifat abstrak dan sering menimbulkan miskonsepsi pada peserta didik.

Kelayakan materi dalam e-modul dipengaruhi oleh penyusunan isi yang mengacu pada capaian pembelajaran Kurikulum Merdeka serta integrasi masalah kontekstual

yang dekat dengan kehidupan sehari-hari siswa. Masalah kontekstual tersebut membantu siswa menghubungkan konsep ilmiah dengan pengalaman nyata sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mahendra et al. (2023) yang menyatakan bahwa penggunaan e-modul berbasis Problem Based Learning mampu meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan pemecahan masalah siswa pada materi termokimia. Penggunaan masalah autentik dalam pembelajaran juga membantu siswa membangun pemahaman konseptual yang lebih mendalam karena konsep tidak dipelajari secara terpisah dari konteks kehidupan nyata.

Aspek media memperoleh kategori sangat layak karena e-modul dirancang dengan tampilan visual yang menarik, tata letak yang sistematis, serta penggunaan ilustrasi dan warna yang mendukung kenyamanan belajar siswa. Penyajian materi secara visual dan interaktif memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dibandingkan bahan ajar cetak konvensional. Kondisi tersebut mendukung temuan Hamidi et al. (2024) yang menyatakan bahwa bahan ajar digital berbasis multimedia dapat meningkatkan keterlibatan siswa karena materi disajikan secara visual, interaktif, dan mudah dipahami. Penggunaan media digital juga membuat pembelajaran lebih fleksibel karena e-modul dapat diakses kapan saja melalui perangkat smartphone maupun laptop.

Kepraktisan e-modul terlihat dari hasil respons siswa yang menunjukkan kategori praktis dengan nilai rata-rata tinggi pada seluruh indikator penilaian. Peserta didik menyatakan bahwa e-modul mudah digunakan, memiliki tampilan menarik, serta membantu memahami materi termokimia dengan lebih baik. Karakteristik user friendly pada e-modul menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi tingginya tingkat kepraktisan produk. Navigasi yang jelas, penggunaan bahasa komunikatif, serta penyajian materi yang sistematis membantu siswa belajar secara mandiri tanpa mengalami kesulitan berarti. Temuan ini memperkuat pendapat Jumraeni (2025) yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis multimedia mampu meningkatkan motivasi dan minat belajar siswa karena penyajian materi lebih atraktif dan interaktif.

Kemudahan akses terhadap e-modul juga menjadi faktor penting dalam mendukung pembelajaran mandiri siswa. Peserta didik dapat mempelajari materi sesuai dengan kecepatan masing-masing sehingga proses belajar menjadi lebih fleksibel. Karakteristik self instructional pada e-modul memungkinkan siswa mengulang materi yang belum dipahami tanpa bergantung sepenuhnya pada penjelasan guru. Kondisi ini mendukung transformasi pembelajaran dari teacher centered learning menuju student centered learning. Perubahan tersebut sangat penting dalam pembelajaran abad ke-21 karena siswa dituntut lebih aktif dalam membangun pengetahuan melalui proses eksplorasi dan refleksi.

Integrasi Problem Based Learning dalam e-modul memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Setiap kegiatan pembelajaran diawali dengan penyajian masalah kontekstual yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari. Permasalahan tersebut mendorong siswa untuk melakukan investigasi, mengumpulkan informasi, berdiskusi, serta merumuskan solusi secara kolaboratif. Aktivitas tersebut membantu siswa membangun kemampuan berpikir kritis dan keterampilan pemecahan masalah yang sangat penting dalam pembelajaran sains. Temuan penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Alvionita (2025) yang menyatakan bahwa penerapan model Problem Based Learning efektif meningkatkan hasil belajar kimia serta kemampuan berpikir kritis siswa.

Penerapan PBL dalam e-modul juga mendukung pembelajaran yang lebih aktif dan bermakna. Siswa tidak lagi hanya menerima informasi secara pasif, tetapi terlibat langsung dalam proses menemukan konsep melalui aktivitas pemecahan masalah. Pendekatan ini membantu siswa memahami konsep termokimia secara lebih mendalam karena konsep dipelajari melalui situasi nyata dan pengalaman belajar yang kontekstual.

Penelitian Lisette Wijnia et al. (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah mampu meningkatkan motivasi belajar siswa karena peserta didik merasa lebih tertantang dan terlibat dalam proses pembelajaran.

Pendekatan *deep learning* yang diintegrasikan dalam e-modul juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas pembelajaran. Aktivitas refleksi pada setiap akhir pembelajaran membantu siswa mengevaluasi pemahaman mereka terhadap konsep yang dipelajari. Refleksi tersebut mendorong siswa untuk menyadari kesalahan konsep yang masih dimiliki dan memperbaikinya melalui proses berpikir yang lebih mendalam. Karakteristik ini sesuai dengan konsep *deep learning* yang menekankan pemahaman konseptual, kemampuan analitis, dan pengaitan pengetahuan dengan situasi nyata.

Pendekatan *deep learning* sangat relevan diterapkan pada materi termokimia karena materi tersebut memiliki tingkat abstraksi yang tinggi. Kesalahan pemahaman sering terjadi ketika siswa hanya menghafal rumus tanpa memahami makna ilmiah di balik konsep yang dipelajari. Aktivitas refleksi dan analisis dalam e-modul membantu siswa memahami hubungan antara konsep kalor, entalpi, sistem, dan lingkungan secara lebih komprehensif. Temuan ini sejalan dengan penelitian El et al. (2025) yang menyatakan bahwa pendekatan *deep learning* mampu membantu siswa memahami konsep secara lebih mendalam dan menghubungkan pengetahuan dengan fenomena kehidupan sehari-hari.

Efektivitas e-modul terlihat dari peningkatan hasil belajar siswa berdasarkan analisis N-gain. Nilai rata-rata pretest sebesar 49,22 meningkat menjadi 85,19 pada posttest dengan nilai N-gain sebesar 0,71 yang termasuk kategori tinggi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan e-modul berbasis PBL dan *deep learning* mampu meningkatkan pemahaman konsep siswa secara signifikan. Hasil ini menunjukkan bahwa pembelajaran yang melibatkan aktivitas pemecahan masalah, refleksi, dan diskusi kolaboratif lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional yang hanya berorientasi pada penyampaian informasi.

Peningkatan hasil belajar siswa dipengaruhi oleh beberapa mekanisme pembelajaran yang terdapat dalam e-modul. Aktivitas analisis masalah pada awal pembelajaran membantu mengaktifkan pengetahuan awal siswa sehingga peserta didik lebih siap menerima konsep baru. Tahapan investigasi dan diskusi dalam sintaks PBL membantu siswa membangun pengetahuan melalui proses kolaboratif. Aktivitas refleksi pada pendekatan *deep learning* memperkuat pemahaman konsep karena siswa didorong untuk mengevaluasi dan menghubungkan pengetahuan dengan pengalaman nyata. Kombinasi ketiga mekanisme tersebut membuat pembelajaran menjadi lebih bermakna dan efektif.

Temuan ini mendukung penelitian Gonsales et al. (2026) yang menyatakan bahwa integrasi PBL dan *deep learning* mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis serta keterampilan pemecahan masalah siswa. Pembelajaran berbasis masalah membantu siswa berpikir secara analitis ketika menghadapi persoalan nyata, sedangkan pendekatan *deep learning* memperkuat pemahaman konseptual melalui proses refleksi dan evaluasi diri. Kombinasi kedua pendekatan tersebut menciptakan pengalaman belajar yang tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga pada proses berpikir siswa.

Aktivitas refleksi metakognitif dalam e-modul juga memberikan dampak positif terhadap kualitas pembelajaran. Pertanyaan reflektif yang diberikan pada akhir pembelajaran membantu siswa meninjau kembali proses berpikir mereka serta mengidentifikasi konsep yang belum dipahami secara optimal. Refleksi tersebut mendorong siswa menjadi lebih sadar terhadap proses belajar yang mereka lakukan. Penelitian Puger et al. (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis metakognitif

mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, dan kualitas pemahaman siswa dalam pembelajaran sains.

Diskusi kolaboratif yang terdapat dalam tahapan PBL juga berkontribusi terhadap peningkatan hasil belajar siswa. Aktivitas diskusi membantu siswa bertukar ide, mengemukakan pendapat, serta memperkuat argumentasi ilmiah. Interaksi antarsiswa memungkinkan terjadinya konstruksi pengetahuan secara sosial sehingga konsep yang dipelajari menjadi lebih mudah dipahami. Penelitian Shiddiqi et al. (2025) menunjukkan bahwa penerapan PBL secara konsisten dapat meningkatkan aktivitas belajar, hasil belajar, dan kemampuan berpikir kritis siswa pada pembelajaran kimia.

Keunggulan lain dari e-modul ini adalah adanya umpan balik langsung melalui latihan soal dan evaluasi mandiri. Ketika siswa menjawab soal, mereka dapat langsung mengetahui hasilnya dan memperbaiki kesalahan sebelum melanjutkan ke materi berikutnya. Umpan balik cepat membantu siswa mengontrol proses belajar secara mandiri dan meningkatkan regulasi diri dalam pembelajaran. Kondisi tersebut mendukung terciptanya pembelajaran yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Problem Based Learning dan pendekatan deep learning dalam bahan ajar digital memberikan dampak positif terhadap kualitas pembelajaran kimia. E-modul yang dikembangkan tidak hanya mampu meningkatkan hasil belajar siswa, tetapi juga mendukung keterampilan berpikir kritis, reflektif, dan pemecahan masalah. Karakteristik tersebut sangat sesuai dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan pentingnya kemampuan berpikir tingkat tinggi dan pembelajaran bermakna.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Uji coba produk hanya dilakukan pada satu kelas dengan jumlah sampel terbatas sehingga generalisasi hasil penelitian masih perlu dikaji lebih lanjut. Pengembangan e-modul juga hanya difokuskan pada materi termokimia sehingga efektivitas produk pada materi kimia lain belum diketahui secara pasti. Penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan e-modul pada materi kimia lainnya serta melibatkan jumlah sampel yang lebih besar agar diperoleh hasil yang lebih komprehensif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa e-modul berbasis *Problem Based Learning* dan *deep learning* mampu menjadi alternatif bahan ajar digital yang efektif dalam pembelajaran kimia. Integrasi kedua pendekatan tersebut membantu menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan bermakna sehingga mampu meningkatkan kualitas pembelajaran serta hasil belajar siswa pada materi termokimia.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pengembangan ini menghasilkan beberapa temuan utama terkait e-modul termokimia berbasis Problem Based Learning (PBL) dan pendekatan Deep Learning: E-modul dinyatakan layak digunakan sebagai bahan ajar setelah divalidasi oleh ahli materi dan ahli media. Hasil dari uji kelayakan yang memiliki persentase untuk media sebesar 86% dengan kategori sangat layak dan untuk materi menghasilkan persentase 73,38% dengan kategori layak. Produk ini dinilai praktis oleh siswa. Hal ini terlihat dari berbagai persentase dari setiap indikator penilaian e-modul yang digunakan siswa dalam pembelajaran. E-modul yang dikembangkan sebagai bahan ajar pendukung dalam pembelajaran kimia pada materi termokimia menunjukkan kategori praktis untuk digunakan. Data dapat dilihat pada. E-modul terbukti efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Hasil uji N-Gain menunjukkan skor sebesar 0,71, yang termasuk dalam kategori tinggi. Hal ini menandakan adanya peningkatan signifikan antara nilai pretest dan posttest setelah siswa menggunakan e-modul. E-modul berbasis PBL dan deep learning terbukti layak, praktis, dan efektif digunakan pada materi termokimia. Secara praktis, produk ini dapat digunakan guru

sebagai alternatif bahan ajar digital interaktif. Secara teoritis, hasil penelitian memperkuat pandangan bahwa integrasi pembelajaran berbasis masalah dan pembelajaran mendalam mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa. Dalam penelitian yang dikemukakan oleh El et al (2025) bahwa integrasi pendekatan deep learning dalam pembelajaran bertujuan untuk memacu siswa menghayati konsep secara lebih mendalam serta berkapasitas menghubungkan pengetahuan dengan situasi nyata.

REKOMENDASI

Penelitian ini terbatas pada satu kelas dan satu materi pembelajaran, sehingga generalisasi temuan masih terbatas. Penelitian selanjutnya disarankan menguji e-modul pada sekolah berbeda, materi kimia lain, serta menambahkan fitur simulasi virtual dan pengukuran literasi sains.

ACKNOWLEDGMENT

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kepala Sekolah, Ketua Kurikulum, Guru Kimia, serta Siswa SMA Negeri 17 Medan yang telah memberikan ijin dan bantuan dalam melakukan penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, metodologi, pengumpulan data lapangan, analisis data, dan penulisan draf asli dilakukan oleh ERS; supervisi, penelaahan, dan penyuntingan naskah (revisi) dilakukan oleh ANP, MD, EDAK, AJP, MA, RAS. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Wahab, Junaedi, M. A. (2021). Efektivitas Pembelajaran Statistika Pendidikan Menggunakan Uji Peningkatan N-Gain di PGMI. *Jurnal Basicedu*, 5(2), 1039–1045.
- Adrian, A. Y., Inda, P. H., Arifendi, R. F., & Kartika, N. (2024). Penerapan Model Problem Based Learning Berbasis Deep Learning Untuk Meningkatkan Pemahaman Siswa Pada Materi Statistika. *Inteligensi: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(1), 199–207.
- Agustin, M., Pitasari, R., & Febriyanti, B. D. (2023). Analisis Kelengkapan dalam Merumuskan Tujuan Pembelajaran pada Mahasiswa PGMI Semester V. *Jurnal Ilmu Kependidikan*, 12(1), 35–42. <https://doi.org/10.33506/jq.v12i1.2554>
- Amelia, R., Tegariyani, S., & Santoso, P. (2021). *21 st Century Skills in Project Based Learning Integrated STEM on Science Subject: A Systematic Literature Review*. 529(Iconetos 2020), 583–590.
- Aulia, S., Yuniasti, A., Wulandari, R., Ahied, M., Munawaroh, F., & Rosidi, I. (2022). Uji Kelayakan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Android Menggunakan Articulate. *Jurnal Natural Science Educational Research*, 5(2), 50–59.
- Dian Adi Pratiwi, Primardiana H Wijayati, R. U. (2023). The Development of Digital Flipbook as German Language Learning for Senior High School Class XI. *Randwick International of Education and Linguistics Science (RIELS) Journal*, 4(1), 48–57.
- El, D., Waruwu, R., & Setiawati, E. (2025). Integrasi Kurikulum Deep Learning Dalam Pendidikan : Strategi Dan Tantangan. *Jurnal Kependidikan Dan Ilmu Sosial*, 20(1), 69–80.
- Ferinda, P., & Hidayat, T. (2026). The Effect of Problem-Based Learning (PBL) through a Deep Learning Approach on Cognitive Learning Outcomes in Science and Social Studies (IPAS) at Elementary School A . Introduction. *Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 7(2), 982–996.
- Gonsales, H. P., Tallo, J. L., Lobo, E. W., S, I. Y., Taloen, M. K., & Fointuna, D. W. (2026). Peningkatan Hasil Belajar IPAS Siswa SD Melalui Penerapan Model PBL dengan Pendekatan Deep Learning. *Pendas : Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 11(1), 146–

157.

- Hamidi, A., Akmala, R., & Wilujeng, I. (2024). Development of PBL Based E-Modules to Boost Students' Science Process Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(1), 820–827. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i2.5939>
- Hidayah, R., Fajaroh, F., & Dasna, I. W. (2022). Collaborative Problem Based Learning to Improve Metacognitive of Chemistry Students : Systematic Literature Review. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 14(4), 6991–7000. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v14i4.1172>
- I. G. N. Puger, J. B. D., Antara, I. G. W. S., Dewantara, K. A. K., , M. Sugiarta, L. V., Sudatha, I. G. W., & Sudarma, I. K. (2024). Metacognition-Based Learning Model: Improving Agile Innovation And Critical Thinking Skills Of Students In Science Learning In Elementary Schools. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(2), 255–264. <https://doi.org/10.15294/jpii.v13i2.1375>
- Julia, J., Ristanto, S., Kurniawan, A. F., & Khoiri, N. (2025). Problem Based Learning and Deep Learning Approach Effects on Student Learning Outcomes. *Unnes Science Education Journal*, 14(3), 490–499.
- Jumraeni, H. R. T. (2025). Penerapan Media Pembelajaran Berbasis Multimedia Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Pada Mata Pelajaran IPAS Di Kelas V Sekolah Dasar. *Jurnal Pendidikan Dasar Dan Keguruan*, 10(1), 100–107.
- Lisette Wijnia, L., Noordzij, G., & Arends, L. R. (2024). The Effects of Problem - Based , Project - Based , and Case - Based Learning on Students' Motivation : In *Educational Psychology Review* (Vol. 36, Issue 1). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09864-3>
- Lutma Ranta Allolinggi, Nurul Laily Al Arsyadhi, A. A. (2025). Pemahaman Konseptual dan Kesiapan Guru Sekolah Dasar Terhadap enerapan Deep Learning Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(4), 264–280.
- 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>
- Manurung, E., Pulungan, A. N., Sudrajat, A., Amdayani, S., & Roza, D. (2025). *Implementation of Problem Based Learning Model Assisted by Electronic Student Worksheets to Improve Learning Outcomes and Learning Motivation on Reaction Rate Material*. 6, 204–209. <https://doi.org/10.29303/jossed.v6i2.12064>
- Mei Rahmayani, Ahmad Nasir Pulungan, Dimas Ridho, E. D. A. K. (2025). Volume 17, Number 1. *Journal of The Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 17(1), 1–8. <https://doi.org/10.5055/jom.2021.0617>
- Mohamad Azhar Annawa, N. D. P. (2025). Pengaruh Model Problem- Based Learning Berpendekatan Deep Learning Terhadap Higher Order Thinking Skills dan Motivasi Belajar Siswa. *Pendas : Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 10(4), 412–428.
- Muhammad Bagus Firmansyah, P. T. F. (2025). Pengaruh Problem Based Learning Dengan Pendekatan Deep Learning Terhadap Pemahaman Siswa Kelas Iii Materi Tata Tertib Di Sekolah Dasar. *Jurnal Sekolah*, 10(1), 124–134.
- Muhammad Habib Ash Shiddiqi, Purwaningsih, D., & Pujiana, E. (2025). Research Trends in the Application of Problem Based Learning Model in chemistry learning in Indonesia: A Systematic Literature Review. *IJCER (International Journal of Chemistry Education Research)*, 9, 74–83. <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol9.iss1.art8>
- Novita, W., & Winda, E. (2025). Decoding Misconceptions in Thermochemistry : Insights from the Four-Tier Diagnostic Test. *Journal of Chemical Learning Innovation*, 2(1), 81–89. <https://doi.org/10.37251/jocli.v2i1.1923>

- Pardosi, A. S., & Dibyantini, R. E. (2025). Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Kimia Development of E-Modules Based on PBL (Problem Based Learning) Integrated with STEM (Science , Technology , Engineering , Mathematic) on Thermochemistry Material. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Kimia*, 14(2), 148–160. <https://doi.org/10.23960/jpkv2.14215>
- Pratama, A., & Setyasto, N. (2024). Development of Prezi Media Based on Problem-Based Learning (PBL) Model in Natural and Social Science Subjects in Class IV Elementary School. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(11), 9718–9728. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i11.9473>
- Rachmi, C. N., Jupri, A., Juandi, D., Putri, N., & Bulubaan, S. (2025). Research Exploration of Problem-Based Learning (PBL) Model and Metacognition Ability in Mathematics Learning: A Systematic Literature Review. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 26(January), 227–243.
- Ramdani, A., & Setiadi, D. (2022). *Validasi E-Modul Terintegrasi Pendekatan STEM Berorientasi PBL pada Pembelajaran Biologi*. 4. <https://doi.org/10.29303/jcar.v4i3.2567>
- Sari, N. Y., Sinaga, D., & Nainggolan, J. (2024). Perkembangan Kurikulum Merdeka. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(1), 2199–2205.
- Siska Alvionita. (2025). Meta-Analysis of the Effect of Problem-Based Learning (Pbl) on Chemistry Learning Outcomes. *BALANGA: Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 13(1), 22–29. <https://doi.org/10.37304/balanga.v13i1.17368>
- Syahrul Munir, Heri Pratikto, W. P. R. (2024). *ANDROID UNTUK MENDUKUNG IMPLEMENTASI*. 10(1), 617–627.
- Trianingsih, L. (2023). *Analisis Kualitas Tes dan Butir Soal Integral pada Evaluasi Formatif Matematika Teknik*. 9(2), 44–57.
- Ulul Albab, Fina Mawadah, Ferdian Nawawi, Alif Tito, & Ahmad Ta’rifin. (2023). Analisis Implementasi Kurikulum Merdeka Dalam Proses Pembelajaran Di Mts Ribattulmuta’Alimin: Peluang Dan Tantangan. *El-FAKHURU*, 3(1), 1–19. <https://doi.org/10.46870/elfakhru.v3i1.773>
- Zain, Z. R., & Pulungan, A. N. (2025). Development of Electronic Student Worksheets (E-LKPD) Based on Problem Based Learning to Improve Student Learning Outcomes on Reaction Rate Material. *Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran Kimia*, 14(1), 58–69. <https://doi.org/10.23960/jppk.v14.i1.33000>