



Development of E-Modules based on STEM Integrated Problem-Based Learning on Acid-Base Materials

Syahkarina Maha & Jasmidi*

Pendidikan kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan,
Jl. Willem Iskandar Pasar V, Medan Estate, Sumatera Utara, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: jasmidi@unimed.ac.id

Article History

Received: 19-05-2026

Revised: 08-06-2026

Published: 30-06-2026

Keywords: E-Modul;
Problem Based Learning;
STEM; Acid Base; R&D.

Abstract

This study aims to determine the development process, level of validity, practicality, and effectiveness of *E-Modules* based on *Problem Based Learning* (PBL) integrated *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) on acid-base materials in improving cognitive learning outcomes of grade XI high school students. The research method used is *Research and Development* (R&D) with reference to the 4D development model (*Define, Design, Develop, Disseminate*). The research was carried out at SMA PAB 6 Helvetia in the second semester of the 2025/2026 Academic Year. The research sample was taken using the *purposive sampling technique*, namely one class XI Science with a total of 20 students. The data collection instrument consists of expert validation sheets (materials and media), teacher response questionnaires, and test instruments in the form of multiple-choice questions through *pre-test* and *post-test*. The data were analyzed quantitatively and qualitatively. The results of the study show that: (1) The *Define stage* successfully identified the need for interactive teaching materials, the *Design stage* produced the design of interactive *e-module* components using *Flip PDF Professional*, the *Develop stage* produced tested products, and the *Disseminate stage* was carried out through the dissemination of *flipbook links*. (2) The *e-module* feasibility level is declared very valid with an average percentage of material experts of 94.2% and media experts of 94.1%. (3) The level of practicality based on the response of the chemistry teacher obtained a percentage of 98.4% with the category of very practical. (4) The effectiveness test on cognitive learning outcomes showed an increase in the average score from 25.25 in the *pre-test* to 77.75 in the *post-test*, with the achievement of an *N-Gain value* of 0.70 (70%) which is included in the high category and quite effective. Based on these results, it can be concluded that the STEM-integrated PBL-based *e-module* on acid-base materials developed has met the valid, practical, and effective criteria for use in chemistry learning in high school. The findings in the development of STEM-integrated Problem Based Learning (PBL)-based *E-Modules* on acid-base materials have a number of competitive advantages as digital learning media. First, this product offers high accessibility where learners can explore material independently through mobile devices (*smartphones*) without space and time limitations. Second, this *E-Module* systematically presents contextual problems that are integrated with the four pillars of STEM, so that it is able to stimulate student problem-solving.

Pengembangan E-Modul berbasis Problem-Based Learning Terintegrasi STEM pada Materi Asam Basa

Sejarah Artikel

Diterima: 19-05-2026

Direvisi: 08-06-2026

Dipublikasi: 30-06-2026

Kata Kunci: E-Modul;
Problem Based Learning;
STEM; Asam Basa; R&D.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pengembangan, tingkat validitas, praktikalitas, dan efektivitas *E-Modul* berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM) pada materi asam basa dalam meningkatkan hasil belajar kognitif siswa kelas XI SMA. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan mengacu pada model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Penelitian dilaksanakan di SMA PAB 6 Helvetia pada semester II Tahun Ajaran 2025/2026.

Sampel penelitian diambil menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu satu kelas XI IPA yang berjumlah 20 siswa. Instrumen pengumpulan data terdiri atas lembar validasi ahli (materi dan media), angket respons guru, serta instrumen tes berupa soal pilihan ganda melalui *pre-test* dan *post-test*. Data dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Tahap *Define* berhasil mengidentifikasi kebutuhan bahan ajar interaktif, tahap *Design* menghasilkan rancangan komponen *e-modul* interaktif menggunakan *Flip PDF Professional*, tahap *Develop* menghasilkan produk yang teruji, dan tahap *Disseminate* dilakukan melalui penyebaran tautan *flipbook*. (2) Tingkat kelayakan *e-modul* dinyatakan sangat valid dengan rata-rata persentase ahli materi sebesar 94,2% dan ahli media sebesar 94,1%. (3) Tingkat praktikalitas berdasarkan respons guru kimia memperoleh persentase sebesar 98,4% dengan kategori sangat praktis. (4) Uji efektivitas terhadap hasil belajar kognitif menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari 25,25 pada *pre-test* menjadi 77,75 pada *post-test*, dengan pencapaian nilai *N-Gain* sebesar 0,70 (70%) yang termasuk dalam kategori tinggi dan cukup efektif. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *e-modul* berbasis PBL terintegrasi STEM pada materi asam basa yang dikembangkan telah memenuhi kriteria valid, praktis, dan efektif untuk digunakan dalam pembelajaran kimia di SMA. Hasil temuan dalam pengembangan E-Modul berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM pada materi asam basa ini memiliki sejumlah keunggulan kompetitif sebagai media pembelajaran digital. Pertama, produk ini menawarkan aksesibilitas tinggi di mana peserta didik dapat mengeksplorasi materi secara mandiri melalui perangkat seluler (*smartphone*) tanpa batasan ruang dan waktu. Kedua, E-Modul ini secara sistematis menyajikan problematika kontekstual yang diintegrasikan dengan empat pilar STEM, sehingga mampu menstimulasi pemecahan masalah peserta didik.

How to Cite: Maha, S., & Jasmi. (2026). Development of E-Modules based on STEM Integrated Problem-Based Learning on Acid-Base Materials. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 14(3), 557-568. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v14i3.20758>



<https://doi.org/10.33394/hjkk.v14i3.20758>

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](#).



PENDAHULUAN

Pendidikan di era digital menuntut transformasi fundamental dalam proses pembelajaran guna mempersiapkan sumber daya manusia yang unggul dan adaptif. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mengubah lanskap pendidikan secara signifikan sehingga integrasi teknologi menjadi kebutuhan dalam setiap aspek pembelajaran (Susanto & Wulandari, 2023). Peserta didik tidak hanya dituntut menguasai aspek kognitif secara teoritis, tetapi juga harus memiliki keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis, kreatif, kolaboratif, dan kemampuan memecahkan masalah untuk menghadapi tantangan global (Hakim & Fauzi, 2022). Dalam paradigma konstruktivisme, media pembelajaran memiliki peran strategis dalam menciptakan lingkungan belajar yang optimal dan bermakna sehingga dapat meningkatkan hasil belajar siswa sebagai representasi dari kualitas pendidikan (Astuti & Wijaya, 2022).

Kimia merupakan salah satu cabang ilmu yang sering dianggap sulit karena bersifat

abstrak dan menuntut kemampuan menghubungkan level representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik (Setiawan & Farida, 2023). Salah satu materi penting dalam kimia SMA adalah asam basa yang memerlukan pemahaman konseptual mendalam serta kemampuan perhitungan matematis seperti pH. Materi asam basa memiliki karakteristik yang kompleks karena melibatkan konsep-konsep abstrak, perhitungan matematis, dan memerlukan pemahaman kesetimbangan kimia (Sari & Purnomo, 2022). Materi ini juga memiliki tingkat kompleksitas tinggi karena berkaitan dengan konsep abstrak dan kesetimbangan kimia. Berbagai miskonsepsi masih sering ditemukan, seperti kesulitan membedakan kekuatan asam dengan konsentrasi larutan, anggapan bahwa semua reaksi netralisasi menghasilkan pH 7, serta pemahaman yang kurang tepat terhadap teori asam-basa *Brønsted-Lowry* (Cooper et al., 2021).

Hasil observasi dan wawancara dengan guru kimia di SMA PAB 6 Helvetia menunjukkan

bahwa pembelajaran masih berorientasi pada guru (*teacher-centered*) melalui metode ceramah dengan media terbatas berupa buku pegangan dan PowerPoint. Kondisi tersebut menyebabkan peserta didik kurang aktif dan kurang terlibat dalam proses pembelajaran. Selain itu, siswa belum pernah menggunakan modul elektronik, khususnya e-modul yang mengaitkan materi asam basa dengan kehidupan sehari-hari serta terintegrasi pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM). Oleh karena itu, diperlukan inovasi bahan ajar berupa e-modul berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM untuk meningkatkan keterlibatan siswa dan relevansi pembelajaran.

Model *Problem Based Learning* (PBL) terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah peserta didik. Penelitian Wijayanti & Nugroho (2023) menunjukkan bahwa penerapan PBL mampu meningkatkan kemampuan analisis dan evaluasi siswa dibandingkan metode ceramah konvensional, meskipun masih menggunakan lembar kerja tercetak. Di sisi lain, pendekatan STEM juga dinilai mampu mendorong siswa mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam menyelesaikan masalah nyata serta meningkatkan minat terhadap bidang sains dan rekayasa (Siregar & Simanjuntak, 2024).

Pengembangan e-modul berbasis PBL terintegrasi STEM menjadi solusi yang relevan untuk membantu siswa menemukan pengetahuan secara aktif dan meningkatkan kemampuan berpikir kritis (Rahman & Wibowo, 2023). Penelitian Rahayu dan Sopian (2021) juga menunjukkan bahwa penggunaan e-modul berbasis PBL dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa secara signifikan. Integrasi PBL dan STEM merepresentasikan desain pembelajaran holistik yang mampu menstimulasi kreativitas, keaktifan, dan kemampuan berpikir kritis peserta didik melalui pengalaman belajar berbasis penyelidikan dan rekayasa solusi (Adhelacahya *et al.*, 2023). Penelitian Oktaviani *et al.* (2020) menunjukkan bahwa modul berbasis PBL terintegrasi STEM memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,75 dengan kategori tinggi, sedangkan Pane *et al.* (2022) melaporkan peningkatan hasil belajar siswa dengan skor N-Gain 67,8% pada kelas eksperimen. Seiring perkembangan teknologi, e-modul menjadi media pembelajaran yang

populer karena menawarkan interaktivitas, multimedia, dan aksesibilitas tinggi. Namun, pengembangan e-modul pada umumnya masih terbatas pada digitalisasi materi tanpa mengintegrasikan model pembelajaran inovatif yang melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi. Abdullah (2023) juga menegaskan bahwa pembelajaran berbasis masalah sering kali belum menekankan aspek rekayasa sebagai inti STEM, sehingga diperlukan pengembangan e-modul berbasis PBL-STEM yang lebih terintegrasi dan mampu mendorong siswa aktif memecahkan masalah.

Berdasarkan dari urgensi tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengembangan media pembelajaran inovatif berupa E-Modul berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) Teintegrasi STEM pada materi Asam Basa. Melalui penelitian dan pengembangan (R&D) ini, masalah utama yang ingin dipecahkan dirumuskan ke dalam beberapa aspek krusial, dimulai dari bagaimana rancangan alur proses konstruksi E-Modul berbasis PBL-STEM yang sistematis pada materi Asam Basa. Selanjutnya, fokus diarahkan untuk menguji sejauh mana tingkat kelayakan (validitas) serta praktikalitas media digital tersebut saat diimplementasikan dalam pembelajaran kimia di kelas. Pada akhirnya, investigasi ini juga bertujuan untuk mengukur efektivitas penggunaan E-Modul tersebut dalam menstimulus dan meningkatkan hasil belajar kognitif peserta didik melalui penyajian masalah yang otentik dan interdisipliner.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Research and Development* (R&D) atau penelitian dan pengembangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran berupa E-Modul berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM pada materi asam basa untuk siswa kelas XI SMA. Fokus penelitian diarahkan pada proses perancangan, pengembangan, uji kelayakan, praktikalitas, dan efektivitas produk dalam meningkatkan hasil belajar kognitif peserta didik. Model pengembangan yang digunakan mengacu pada model 4D yang dikemukakan oleh Thiagarajan & Semmel dalam (Sugiyono, 2023), yang terdiri atas empat tahapan, yaitu *Define* (pendefinisian), *Design* (perancangan), *Develop* (pengembangan), dan *Disseminate* (penyebaran).

Penelitian ini dilaksanakan di SMA PAB 6 Helvetia pada semester II Tahun Ajaran 2025/2026. Populasi penelitian mencakup seluruh siswa kelas XI SMA PAB 6 Helvetia yang terdiri dari dua kelas dengan jumlah keseluruhan 40 siswa. Sampel penelitian diambil menggunakan teknik purposive sampling, yaitu satu kelas XI IPA yang berjumlah 20 siswa. Instrumen penelitian yang digunakan terdiri atas instrumen non tes dan instrumen tes. Instrumen non tes berupa lembar validasi ahli dan angket respons guru serta siswa untuk mengukur tingkat validitas dan praktikalitas e-modul. Sementara itu, instrumen tes berupa soal pilihan ganda yang diberikan melalui pre-test dan post-test untuk mengukur peningkatan hasil belajar kognitif siswa pada materi asam basa.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui validasi ahli, penyebaran angket, dan pemberian tes hasil belajar. Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berasal dari skor validasi, angket, serta hasil pre-test dan post-test siswa yang kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat kelayakan, praktikalitas, dan efektivitas produk (Subhaktiyasa, 2024). Pada tahap kelayakan, dilakukan validasi oleh ahli materi dan media menggunakan lembar angket skala Likert, di mana data kuantitatif yang diperoleh dihitung persentase validitasnya menggunakan rumus standardisasi skor untuk menentukan kategori kelayakan produk, sementara saran perbaikan dianalisis deskriptif sebagai basis revisi tahap pertama.

Tahap kedua merupakan uji praktikalitas untuk mengukur keterlaksanaan e-modul di lapangan, dievaluasi melalui angket respons guru kimia serta peserta didik dengan teknik analisis persentase kepraktisan yang serupa. Terakhir tahap efektivitas, fokus pada pengukuran peningkatan hasil belajar kognitif siswa pada materi asam basa, yang diuji secara empiris melalui instrumen soal pilihan ganda atau esai terstruktur dalam bentuk *pre-test* dan *post-test*.

Data tes tersebut kemudian dianalisis secara kuantitatif menggunakan uji *Normalized Gain* (*N-gain score*) untuk melihat indeks efektivitas peningkatan pemahaman (Sukarelawan et al., 2024). Adapun data kualitatif diperoleh dari saran dan komentar validator maupun guru sebagai bahan revisi dalam penyempurnaan e-modul yang dikembangkan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan

media pembelajaran digital yang valid, praktis, dan efektif dalam mendukung pembelajaran kimia pada materi asam basa.

HASIL PENELITIAN

Tahap Define

Tahap *Define* diawali dengan analisis ujung depan yang menunjukkan adanya kendala dalam pembelajaran kimia, khususnya materi asam basa, akibat dominasi pembelajaran yang masih bersifat *teacher-centered*. Analisis kebutuhan adalah kegiatan pembelajaran yang memanfaatkan variasi metode dengan menggunakan fasilitas yang tersedia (Nababan, 2020). Peserta didik mengalami kesulitan memahami konsep-konsep abstrak karena pembelajaran masih bergantung pada penjelasan verbal dan buku teks cetak. Hasil angket menunjukkan bahwa siswa membutuhkan bahan ajar digital yang lebih interaktif, sistematis, dan mudah diakses untuk mendukung pembelajaran mandiri.

Selain itu, peserta didik juga mengharapkan pembelajaran yang melibatkan masalah kontekstual, diskusi kolaboratif, serta pemanfaatan teknologi sehingga diperlukan model pembelajaran student-centered seperti *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM (Manurung & Zubir, 2023). Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa proses konstruksi pengetahuan terjadi saat siswa mencoba membedah dan memahami berbagai fenomena yang mereka temui langsung di lingkungan sekitarnya (Nugraha & Herdiana, 2024).

Analisis peserta didik merupakan langkah krusial untuk memetakan karakteristik siswa yang menjadi landasan utama dalam merancang produk pembelajaran (Mesra et al., 2023). Hasil analisis peserta didik menunjukkan bahwa kemampuan akademik siswa tergolong cukup baik, namun masih terdapat kesulitan pada materi yang bersifat abstrak dan mikroskopis. Oleh karena itu, peserta didik memerlukan penyajian materi yang sistematis, visual, dan kontekstual agar lebih mudah memahami konsep asam basa (Pratama et al, 2022).

Dari aspek keterampilan, siswa cenderung lebih aktif dan termotivasi ketika pembelajaran melibatkan diskusi dan pemecahan masalah nyata. Analisis konsep menunjukkan bahwa materi asam basa memiliki peranan penting dalam pembelajaran kimia karena berkaitan dengan konsep-konsep lanjutan. Namun, masih ditemukan kesulitan siswa dalam memahami

hubungan antar konsep seperti pH, kekuatan asam-basa, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari sehingga materi disusun secara hierarkis dari konsep dasar hingga lanjutan agar lebih mudah dipahami.

Analisis tugas mengungkapkan bahwa pembelajaran sebelumnya belum optimal dalam melatih kemampuan pemecahan masalah siswa. Peserta didik membutuhkan tugas yang lebih menantang dan berbasis konteks nyata untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Keterampilan utama yang dikembangkan meliputi analisis masalah asam basa, perhitungan pH, interpretasi data, serta kemampuan menghubungkan konsep dengan fenomena kehidupan sehari-hari. Berdasarkan hasil analisis konsep dan tugas, tujuan pembelajaran kemudian dirumuskan secara spesifik untuk mendukung pengembangan e-modul berbasis PBL terintegrasi STEM yang

berfokus pada penguasaan konsep asam basa, kemampuan pemecahan masalah, berpikir kritis, dan kolaborasi siswa sesuai dengan karakteristik peserta didik dan tuntutan kurikulum.

Tahap Design (Perancangan e-Modul)

Tahap *Design* (perancangan) bertujuan untuk mengembangkan E-Modul produk yang sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Ada tahap ini, rumusan tujuan pembelajaran serta data empiris yang diperoleh dari studi pendahuluan dijadikan landasan utama dalam menyusun kerangka produk (Shakeel, 2023). Tahap perencanaan dilakukan untuk menyiapkan kerangka E-Modul. Tahapan ini meliputi pemilihan media, pemilihan format dilakukan pendekatan yang digunakan, rancangan awal yaitu memperoleh kerangka komponen E-Modul menggunakan pendekatan berbasis Problem Based Learning (PBL) terintegrasi STEM dan menggunakan instrumen tes yang sudah divalidasi.

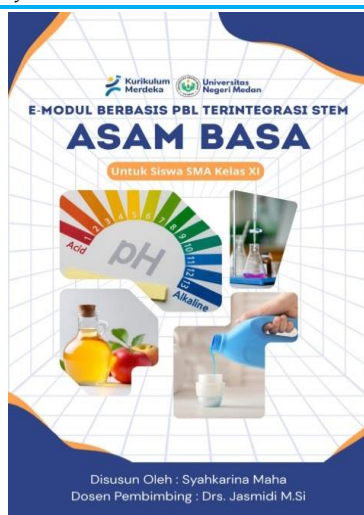
Table 1. Rancangan Draft E- Modul

No	Draft E- Modul	Penjabaran Materi
1.	Sampul Cover	Konsep Asam Basa:
2.	Kata Pengantar	• Pengertian Asam Basa
3.	Daftar Isi	• Sifat Umum Asam Basa
4.	Daftar Tabel	• Teori Asam Basa (Teori Arrhenius, Teori Bronsted Lowry, dan Teori Lewis)
5.	Deskripsi E-Modul	Kekuatan Asam Basa:
6.	Petunjuk Penggunaan E-Modul	• Kesetimbangan ion dalam larutan asam
7.	Capaian Pembelajaran	• Derajat keasaman atau pH
8.	Alur Tujuan Pembelajaran	• pH asam kuat, asam lemah, dan asam polivalen
9.	Peta Konsep	• pH basa kuat dan basa lemah
10.	Analisis Pembelajaran STEM	Indikator Asam Basa:
11.	Pembahasan Materi	• Indikator kertas lakmus
12.	Tujuan Pembelajaran	• Indikator bahan kimia dan bahan alami
13.	Sub Bab Teori Asam Basa	• Indikator pH
14.	Sintaks 1 Tahap Orientasi Masalah	
15.	Tahap sintak 2 pertanyaan Pemantik	
16.	Sintaks 3 Eksplorasi konsep -Materi konsep asam basa, teori asam basa dan karakteristik asam basa	
17.	Tahapan STEM	
18.	Sintak 4 Analisis dan diskusi	
19.	Sintak 5 Refleksi	
20.	Rangkuman Persubab	
21.	Evaluasi soal subbab	
22.	Kunci Jawaban	
23.	Daftar Pustaka	
24.	Glosorium	

Draft rancangan e-modul tersebut kemudian dikembangkan menjadi e-modul berbasis *Problem Based Learning* terintegrasi STEM pada materi asam basa. Selain itu, pada tahap ini dilakukan penyusunan kisi-kisi instrumen tes sebanyak 40 soal pilihan ganda. Penyusunan instrumen dilakukan dengan menyesuaikan cakupan materi asam basa.

pan materi asam basa.

Selanjutnya akan dilakukan uji coba instrumen kepada siswa kelas XII IPA 1 di SMAS PAB 6 Helvetia untuk mengetahui tingkat validitas, daya beda, kesukaran, pengecoh dan reliabel soal. Berikut hasil rancangan media e-modul yang disajikan.



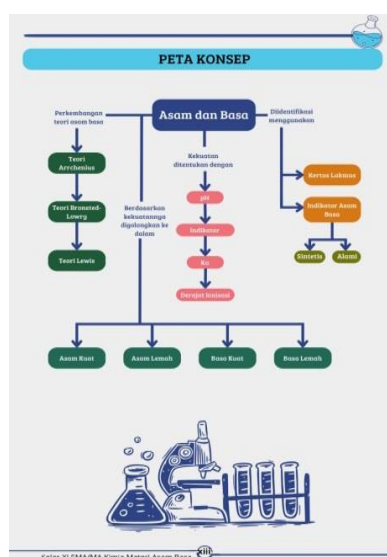
Gambar 1. Cover E-Modul



Gambar 2. Kata Pengantar E-Modul



Gambar 3. Petunjuk Penggunaan E-Modul



Gambar 4. Peta Konsep E-Modul

Pada bagian cover depan disajikan judul yaitu "E-Modul berbasis PBL tertintegrasi STEM Asam Basa" untuk siswa SMA kelas XI. Selain itu, terdapat logo universitas dan kampus merdeka pada bagian atas judul serta dilengkapi dengan nama penyusun dan nama dosen pembimbing. Cover di desain dengan menampilkan gambar yang sesuai dengan materi kimia asam basa. Pada halaman selanjutnya setelah cover disajikan judul, nama penyusun, dosen pembimbing, asal instansi dan tahun penyusunan e-modul. Pada halaman selanjutnya disajikan kata pengantar sebagai ucapan terima kasih penulis atas tersusunnya e-modul kemudian diikuti dengan halaman petunjuk penggunaan e-modul, deskripsi e-modul, peta konsep dan lainnya sesuai dengan draf e-modul.

Tahap Development

Pada tahap ini sebelum angket digunakan, terlebih dahulu dilakukan validasi instrumen non tes oleh ahli agar instrumen layak digunakan peneliti. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari angket validasi ahli materi, validasi ahli media, dan angket uji kepraktisan. Pada tahap validasi angket peneliti ini melakukan validasi dengan 1 validator dosen pendidikan kimia Universitas Negeri Medan, hasil rata-rata dari penilaian dosen ahli sebesar 85% dengan kategori "sangat layak". Penilai validasi angket pada ahli materi sebesar 84% kategori sangat layak, pada ahli media sebesar 87% kategori sangat layak dan pada angket kepraktisan guru sebesar 85% kategori sangat layak. Sehingga disimpulkan bahwa instrumen angket siap digunakan untuk penelitian tetapi ada beberapa revisi.

Table 2. Hasil Uji Validasi Instrumen Tes

No	Tingkat kesukaran soal	Nomor soal
1	Sukar	24,26,31,34,39
2	Sedang	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,16,17,18,19, 20,21,22,23,28,29,35,36,37,40
3	Mudah	1,14,15,25,27,30,33,38
Daya Pembeda Soal		
1	Memenuhi syarat	2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,15,17,18,21,22,23, 25,27,28,29,30,32,33,35,36,37
2	Tidak memenuhi syarat	1,11,12,16,19,20,24,26,31,34,38,40
Kategori Validitas Soal		
1	Valid	2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,15,17,18, 21,22,23,25,27,28,29,30,35,36,
2	Tidak Valid	1,8,11,12,14,16,19,20,24,26,31,32,33, 34,38,39, 40
Distraktor		
1	Memenuhi Syarat	2,4,8,9,10,11,12,16,17,20,22,23,24,26,28,29,31,34,35,40
2	Tidak Memenuhi Syarat	1,3,5,6,7,13,14,15,18,19,21,25,27,30,32, 33,36,37,38,39
Reliabilitas		
Reliabel		Hasil rhitung = 0,864 > cronbach alpha 0,6

Berdasarkan hasil tabel 2 tersebut, tingkat kesukaran soal menunjukkan bahwa sebagian besar butir soal berada pada kategori sedang, yaitu sebanyak 26 soal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa instrumen tes telah memiliki tingkat kesukaran yang cukup proporsional sehingga mampu mengukur kemampuan peserta didik secara optimal. Selain itu, terdapat 5 soal berkategori sukar dan 9 soal berkategori mudah. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa instrumen telah dirancang

dengan variasi tingkat kesulitan yang cukup baik untuk membedakan kemampuan siswa pada berbagai tingkat penguasaan materi (Fitriani, 2021). Pada aspek daya pembeda, sebanyak 27 soal dinyatakan memenuhi syarat, yang berarti butir soal mampu membedakan siswa berkemampuan tinggi dan rendah secara efektif. Namun, masih terdapat beberapa soal yang tidak memenuhi syarat sehingga memerlukan revisi atau penggantian agar kualitas instrumen menjadi lebih baik.

Table 3. Hasil Validasi Ahli Materi

Aspek Penilaian	Persentase Rata-Rata (%)			Rata-rata (%)
	V1	V2	V3	
Kesesuaian kurikulum	93,3	80	80	84,4%
Keakuratan materi	96	92	80	89,3%
Kejelasan evaluasi	90	95	80	88,3%
Ketetapan penyajian materi	100	96	80	92%
Kesesuaian dengan kaidah bahasa	100	100	100	100%
Pendukung penyajian	100	100	100	100%
Aspek PBL	100	100	100	100%
Aspek STEM	100	100	100	100%
Rata-rata (%)				94,2%
Kreteria validasi analisis persentase				Sangat Valid

Hasil uji validitas menunjukkan bahwa sebagian besar soal telah memenuhi kriteria valid, sehingga layak digunakan untuk mengukur hasil belajar peserta didik. Soal-soal yang valid menandakan adanya kesesuaian antara instrumen dengan indikator pembelajaran yang ingin diukur (Subhaktiyasa, 2024). Akan tetapi, masih ditemukan beberapa butir soal yang tidak valid sehingga perlu diperbaiki agar

instrumen memiliki tingkat ketepatan pengukuran yang lebih tinggi. Pada analisis distraktor, sebagian soal telah memenuhi syarat karena setiap opsi jawaban mampu berfungsi dengan baik dalam mengecoh peserta didik yang belum memahami materi. Namun, masih terdapat sejumlah distraktor yang tidak berfungsi secara optimal sehingga perlu direvisi agar kualitas pengecoh lebih efektif. Penentuan

reliabilitas item soal menggunakan rumus Kuder dan Richardson (KR-20). Hasil uji reliabilitas menunjukkan bahwa $r_{hitung} = 0,864$ sedangkan cronback alpha 0,6 karena $r_{hitung} >$ cronbach alpha (0,864 > 0,6) maka dapat disimpulkan bahwa item soal secara keseluruhan memiliki tingkat reliabilitas yang tinggi sehingga instrumen tes tersebut dinyatakan reliabel. Secara keseluruhan, hasil analisis instrumen menunjukkan bahwa tes yang dikembangkan telah cukup baik dan layak digunakan setelah dilakukan beberapa perbaikan pada butir soal yang belum memenuhi kriteria.

Berdasarkan tabel 3 maka dapat dilihat bahwa persentase rata-rata hasil validasi ahli materioleh ketiga validator yaitu 94,2%, dimana hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa e-modul berbasis PBL terintegrasi STEM pada materi asam basa dikategorikasn sangat valid/layak sesuai dengan kreteria penilaian persentase. Hal tersebut dapat dijadikan acuan bahwa bahan ajar yang telah dikembangkan sudah layak digunnnakan dalam tahap implementasi di SMA PAB 6 Helvetia.

Table 4. Hasil Validasi Ahli Media

Aspek Penilaian	Persentase Rata-Rata (%)			Rata-rata (%)
	V1	V2	V3	
Desain Sampul E-Modul	100	93,3	80	91,1%
Layout	100	97,5	80	92,5%
Gambar dan ilustrasi	100	88	84	90,7%
Warna	100	100	80	93,3%
Bahasa	100	100	100	100%
Pengaplikasian fitur E-Modul	100	100	100	100%
Aspek PBL-STEM	93,3	100	80	91,1%
Rata-rata (%)				94,1%
Kreteria validasi analisis persentase				Sangat Valid

Table 5. Hasil Revisi Ahli Materi

No	Sebelum Revisi	Sesudah Revisi
1.	Kunci evaluasi belum tercantum pada e-modul	Ditambahkan kunci jawaban evaluasi dibagian akhir e-modul
2.	Referensi kurang memadai minimal 10	Ditambahnya referensi dan literatur pada e-modul
3.	ATP belum tercantum secara eksplisit	Ditambahkan ATP ke dalam pada bagian pendahuluan e-modul
4.	Indikator belum tercantum secara eksplisit	Ditambahkan Indikator dan TP pada bagian pendahuluan e-modul
5.	Penulisan rumus molekul perlu diperbaiki	Penulisan rumus molekul yang salah diperbaiki
6.	Reaksi asam basa hal.8 bahasa indonesi saja	Reaksi asam basa yang awalnya bahasa inggris diubah menjadi bahasa indonesia

Table 6. Hasil Revisi Ahli Media

No	Sebelum Revisi	Sesudah Revisi
1.	Cover gambar titrasi jangan segitiga kebawah agar terlihat gambarnya	Gambar titrasi pada cover diubah menjadi bentuk persegi untuk melihatkan alat titrasinya
2.	Penataan perlu ditata lebih proporsional sehingga seriap komponen tergambar dengan jelas	Tata letak dilakukan pengeditan agar setiap komponen tulisan terlihat dengan jelas
3.	Huruf penulisan dosen perlu diperbesar	Penulisan nama dosen diperbesar pada e-modul
4.	Ikon tangan menutupi gambar dan tulisan	Pada ikon tangan yang menutupi dihapus
5.	Setiap gambar dan ilustrasi tuliskan sumbernya	Pembutan gambar, ilustrasi dan vidio pada e-modul diberikan sumbernya
6.	Sintak 1 diganti menjadi sains	Diubah sintak 1 pada e-modul

Table 7. Hasil Praktikalitas oleh Guru

Aspek Penilaian	Persentase Rata-rata (%)
Kemudahan Penggunaan	100
Materi	92
Penyajian	100
Manfaat	100

Efisiensi Waktu	100
Rata-rata (%)	98,4%
Kriteria	Sangat Praktis

Berdasarkan tabel 4 diatas maka dapat dilihat bahwa persentase rata-rata hasil validasi ahli media oleh ketiga validator yaitu 94,1%, dimana

hasil persentase tersebut menunjukkan bahwa e-modul berbasis PBL terintegrasi STEM pada materi asam basa dikategorikan sangat valid/layak sesuai dengan kriteria penilaian persentase. Hal tersebut dapat dijadikan acuan bahwa bahan ajar yang telah dikembangkan sudah layak digunakan dalam tahap implementasi di SMA PAB 6 Helvetia.

Tabel 7 diatas menunjukkan bahwa praktikalitas e-modul berdasarkan respon guru memiliki nilai rata-rata 98,4% berkriteria "Sangat Praktis". E-modul berbasis *Problem Based*

Learning terintegrasi STEM pada materi asam basa dapat digunakan dengan baik, mudah digunakan, menarik, bermanfaat dalam pembelajaran, dan efisien. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sandi et al. (2025), yang menunjukkan bahwa implementasi e-modul berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) pada topik-topik kimia abstrak mampu memfasilitasi peserta didik dalam mengonstruksi pemahaman konsep secara lebih kontekstual dan bermakna.

Table 8. Hasil Uji Efektivitas

Rata-rata Pretes	Rata-rata posttest	N-Gain	Kategori
25,25	77,75	70	Cukup Efektif

Berdasarkan tabel diatas hasil uji N-Gain menunjukkan bahwa ada perubahan yang terjadi sebelum dan sesudah menerapkan e-modul berbasis *Problem Based Learning* terintegrasi STEM pada materi asam basa diperoleh nilai sebesar 70 dengan kategori "Cukup efektif".

Tahap Dissimante

Pada tahap dissimante (Penyebaran) ini dilakukan peneliti secara terbatas dengan menyebarkan produk akhir berupa E-Modul berbasis *Problem Based Learning* terintegrasi STEM pada materi asam basa dalam bentuk link dan diakses dalam tampilan *flipbook*. Penyebaran dilakukan secara online agar memudahkan peserta didik untuk mengakses E-Modul. Adapun akses yang dapat digunakan dengan mengunjungi link *flipbook* yang tertera di bawah ini menggunakan adroid atau PC.

Link *flipbook* : <https://heyzine.com/flip-book/de03aa4894.html>

PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan produk berupa E-modul berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM pada materi asam basa. Pengembangan produk bertujuan untuk mengetahui proses pengembangan, tingkat validitas, praktikalitas, dan efektivitas e-modul terhadap hasil belajar siswa. Penelitian menggunakan model pengembangan 4D yang diadaptasi dari Thiagarajan (1974), meliputi tahap *Define*, *Design*, *Development*, dan *Disseminate*. Pada tahap *Define*, dilakukan identifikasi masalah melalui observasi lapangan yang menunjukkan bahwa pembelajaran kimia masih didominasi metode konvensional dengan

media terbatas pada PowerPoint dan buku teks. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya hasil belajar siswa, di mana sekitar 70% peserta didik masih berada di bawah KKM atau KKTP sehingga diperlukan pengembangan bahan ajar yang lebih inovatif dan interaktif.

Tahap analisis peserta didik menunjukkan bahwa 61,5% siswa merasa jenuh akibat penggunaan media pembelajaran yang monoton dan 69,2% siswa menginginkan bahan ajar yang lebih menarik serta kaya visualisasi. Temuan ini mendukung pendapat Ranny (2019) yang menyatakan bahwa analisis karakteristik peserta didik sangat penting dalam pengembangan media pembelajaran agar sesuai dengan kebutuhan dan mampu meningkatkan motivasi belajar. Materi asam basa dipilih karena memiliki karakteristik konseptual yang kompleks dan relevan dengan kehidupan sehari-hari sehingga cocok diintegrasikan dengan model PBL-STEM (Cahyono & Retnowati, 2022).

Selain itu, dilakukan analisis tugas berdasarkan Capaian Pembelajaran (CP) dan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) Kurikulum Merdeka untuk memastikan kesesuaian materi dengan kompetensi yang ditargetkan. Hal ini sejalan dengan penelitian Pertiwi et al. (2024) yang juga melakukan analisis kebutuhan awal dan menemukan permasalahan serupa, di mana 60% siswa menilai materi kimia bersifat abstrak dan sulit dipahami, 13% menganggap cara penyampaian bahan ajar kurang menarik, serta 10% menyatakan adanya kekurangan pada media pembelajaran yang digunakan.

Pada tahap *Design*, peneliti merancang e-modul menggunakan aplikasi Flip PDF

Professional sehingga menghasilkan tampilan flipbook yang interaktif dan mudah digunakan. Hal ini sejalan dengan penelitian Roudhoh et al. (2025) yang menyatakan bahwa e-modul tidak hanya harus memenuhi aspek kelayakan materi, tetapi juga prinsip desain media pembelajaran digital yang baik. E-modul dirancang dengan komponen lengkap seperti cover, petunjuk penggunaan, peta konsep, materi, evaluasi, glosarium, hingga daftar pustaka. Penyajian materi diintegrasikan dengan sintaks *Problem Based Learning* dan pendekatan STEM melalui berbagai masalah kontekstual seperti hujan asam, limbah rumah tangga, dan indikator asam basa yang dikaitkan dengan aspek Science, Technology, Engineering, dan Mathematics.

Integrasi STEM dalam e-modul diwujudkan melalui penggunaan simulasi PhET, aktivitas perancangan solusi masalah, dan latihan perhitungan matematis terkait materi asam basa. Pada subbab konsep asam basa, peserta didik diajak menganalisis fenomena hujan asam dan perubahan pH lingkungan melalui orientasi masalah serta eksplorasi konsep. Pada integrasi Technology, siswa dapat mengakses simulasi melalui barcode yang tersedia dalam e-modul. Pada aspek Engineering, siswa didorong untuk merancang prosedur penyelesaian masalah, sedangkan aspek Mathematics diwujudkan melalui latihan perhitungan konsentrasi ion H^+ .

Seluruh aktivitas tersebut dirancang untuk melatih kemampuan berpikir kritis, diskusi kelompok, dan refleksi konsep yang telah dipelajari. Struktur desain ini sejalan dengan temuan empiris Pane dkk. (2022) yang membuktikan bahwa pembelajaran kimia bermuatan STEM secara mandiri mampu meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan, ditunjukkan oleh dominasi perolehan skor *N-Gain* berkategori tinggi pada kelas eksperimen yang mencapai 67,8% dibandingkan kelas kontrol yang hanya sebesar 20%. Pemanfaatan modul berbasis STEM ini juga terbukti efektif dalam memicu penalaran analitis peserta didik melalui penyelesaian masalah kontekstual yang dihadapi sehari-hari.

Tahap *Development* dilakukan dengan menyusun instrumen penelitian seperti angket validasi ahli materi, validasi ahli media, angket praktikalitas guru, serta soal pretest dan posttest. Hasil validasi ahli materi memperoleh skor rata-rata sebesar 94,2% dengan kategori "Sangat

Valid", sedangkan validasi ahli media memperoleh skor rata-rata 94,1% dengan kategori "Sangat Valid". Setelah direvisi sesuai saran validator, e-modul diuji praktikalitasnya kepada guru kimia SMA PAB 6 Helvetia dan memperoleh skor rata-rata sebesar 98,4% dengan kategori "Sangat Praktis". Hasil ini menunjukkan bahwa e-modul mudah digunakan, menarik, efisien, dan sesuai untuk mendukung proses pembelajaran kimia. Tingginya capaian kelayakan teoretis dan kepraktisan operasional ini sejalan dengan hasil riset pengembangan perangkat pembelajaran berbasis teknologi-budaya yang dilakukan oleh Listiyani et al. (2025) yang menegaskan bahwa pengembangan instrumen yang terintegrasi secara sistematis mampu menunjukkan tingkat validitas kuat dengan perolehan rata-rata skor penilaian para ahli mencapai nilai 4,5 dari skala 5. Tingginya akumulasi penilaian tersebut memberikan indikasi kuat akan tingginya akseptabilitas produk serta kesesuaian yang kokoh terhadap tujuan pedagogis di lapangan.

Uji efektivitas dilakukan kepada 20 siswa kelas XI IPA 1 melalui desain pretest dan posttest. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rata-rata nilai siswa dari 25,25 pada pretest menjadi 77,75 pada posttest dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,70 atau 70% yang termasuk kategori "Tinggi" dan "Cukup Efektif". Temuan ini memperkuat penelitian Tiyasari & Suparman (2022) yang menyatakan bahwa e-modul berbasis PBL efektif meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan hasil belajar siswa. Sejalan dengan model pengembangan 4D, Pertiwi et al. (2024) membuktikan bahwa pengintegrasian model *Problem-Based Learning* (PBL) dan pendekatan STEM ke dalam sebuah *E-Module* berbasis website mampu secara signifikan meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dibandingkan dengan penggunaan media konvensional, dengan perolehan skor efektivitas *N-Gain* sebesar 0,70 yang masuk dalam kriteria tinggi. Tahap *Disseminate* dilakukan dengan membagikan tautan flipbook kepada sekolah dan peserta didik agar dapat diakses secara fleksibel melalui smartphone. Meskipun terdapat kendala teknis pada proyektor di kelas, solusi pengiriman tautan melalui WhatsApp terbukti efektif dan peserta didik memberikan respons yang sangat positif terhadap penggunaan e-modul.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan E-Modul berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM pada materi asam basa telah berhasil dilaksanakan menggunakan model pengembangan 4D yang meliputi tahap *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Tahap *Define* berhasil mengidentifikasi kebutuhan bahan ajar dan kesesuaian kurikulum, tahap *Design* menghasilkan rancangan e-modul dan instrumen penelitian, tahap *Develop* menghasilkan media yang telah divalidasi dan diuji coba, sedangkan tahap *Disseminate* dilakukan melalui distribusi produk kepada guru dan peserta didik. Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul memperoleh rata-rata persentase sebesar 94,1% dengan kategori “sangat valid”, yang terdiri dari validasi ahli materi sebesar 94,2% dan validasi ahli media sebesar 94,1%. Selain itu, hasil uji praktikalitas oleh guru memperoleh persentase sebesar 98,4% dengan kategori “sangat praktis”, sedangkan hasil uji efektivitas menunjukkan nilai rata-rata N-Gain sebesar 70 dengan kategori “tinggi”, sehingga e-modul dinyatakan efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada materi asam basa. Hasil temuan dalam pengembangan E-Modul berbasis *Problem Based Learning* (PBL) terintegrasi STEM pada materi asam basa ini memiliki sejumlah keunggulan kompetitif sebagai media pembelajaran digital. Pertama, produk ini menawarkan aksesibilitas tinggi di mana peserta didik dapat mengeksplorasi materi secara mandiri melalui perangkat seluler (*smartphone*) tanpa batasan ruang dan waktu. Kedua, E-Modul ini secara sistematis menyajikan problematika kontekstual yang diintegrasikan dengan empat pilar STEM, sehingga mampu menstimulasi pemecahan masalah peserta didik.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, peserta didik disarankan untuk memanfaatkan E-Modul berbasis PBL terintegrasi STEM sebagai sumber belajar kimia karena telah terbukti valid, praktis, dan efektif dalam mendukung pemahaman konsep. Guru juga disarankan menggunakan e-modul ini dalam proses pembelajaran untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan inovatif melalui integrasi sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, peneliti

selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan E-Modul berbasis PBL-STEM pada materi kimia lainnya dengan menggunakan metode eksperimen serta melakukan uji coba pada kelompok yang lebih besar agar diperoleh hasil yang lebih luas dan mendalam terkait efektivitas media pembelajaran tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Haris, H., & Rahman, A. (2023). Development of a Problem-Based Mobile Learning Application to Enhance Science Process Skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 12(1), 112-123.
- Adhelacahya, K., Sukarmin, S., & Sarwanto, S. (2023). Impact of Problem-Based Learning Electronics Module Integrated with STEM on Students' Critical Thinking Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(7), 4869-4878. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i7.3931>.
- Astuti, Y., & Wijaya, A. (2022). Peran Media Pembelajaran Digital dalam Mendukung Pendekatan Konstruktivisme di Era Society 5.0. *Jurnal Basicedu*, 6(4), 5856-5865.
- Cahyono, E., & Retnowati, L. (2022). Mengatasi Hambatan Belajar Kimia Melalui Pendekatan Representasi Multipel. *Jurnal Pendidikan Kimia Progressif*, 15(1), 78-89.
- Cooper, M. M., Kouyoumdjian, H., & Underwood, S. M. (2021). Investigating student understanding of acid-base concepts: A longitudinal study. *Journal of Chemical Education*, 98(7), 2209-2220.
- Fitriani, N. (2021). Analisis tingkat kesukaran, daya pembeda, dan efektivitas pengecoh soal pelatihan kewaspadaan kegawatdaruratan maternal dan neonatal. *Paedagogia: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan Kependidikan*, 12(2), 199-205.
- Hakim, L. N., & Fauzi, A. (2022). Integrasi Keterampilan Abad 21 dalam Pembelajaran Sains untuk Menghadapi Era Society 5.0. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 9(2), 150-162.
- Oktaviani, A., Anom, K., & Lesmini, B. (2020). Pengembangan Modul Kimia terintegrasi STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) dan PBL (Problem-Based Learning). *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, 2(2), 64. <https://doi.org/10.21580/jec.2020.2.2.6279>.
- Listiyani, L. R., Wilujeng, I., Suyanto, S., & Pratama, D. H. (2025). EthnoSTEM-based learning tools: Connecting cultural heritage with STEM education. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 17(4), 593-609.
- Manurung, A., & Zubir, M. (2023). Pengembangan E-modul pembelajaran kimia berbasis masalah terintegrasi STEM pada materi larutan penyangga.

- Pediaqu: Jurnal Pendidikan Sosial dan Humaniora*, 2(2), 883-891.
- Mesra, R., Salem, VET, Polii, MGM, Santie, YDA, Rai, NMW, Sarwandi, Sari, RP, Yulianti, R., Nasar, A., Yenita, Y., & Santiari, NPL (2023). *Penelitian dan pengembangan dalam pendidikan*. Dalam M. Jannah (Ed.). Universitas Pendidikan Ganesha. <https://doi.org/10.31219/osf.io/d6wck>
- Nababan, N. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Geogebra dengan Model Pengembangan ADDIE di Kelas XI SMAN 3 Medan. *Jurnal Inspiratif*, 6(1), 37–50.
- Nugraha, W., & Herdiana, D. (2024). Teori belajar konstruktivisme dan implikasinya dalam pembelajaran. *Journal of Education*, 1(28).1-8.
- Pane, E. P., Manurung, H. M., Simangunsong, A. D., Mobo, F. D., Siahaan, T. M., & Manurung, S.(2022). The Effect of Stem-Based Learning Module on Students Learning Outcomes and Motivation in General Chemistry Courses. *IJECA (International Journal of Education and Curriculum Application)*, 5(2), 211. <https://doi.org/10.31764/ijeca.v5i2.10212>.
- Pertiwi, N. P., Saputro, S., Yaminah, S., & Kamari, A. (2024). Enhancing critical thinking skills through STEM problem-based contextual learning: An integrated e-module education website with virtual experiments. *Journal of Baltic Science Education*, 23(4), 739–766. <https://doi.org/10.33225/jbse/24.23.739>
- Pratama, Y. A., Hidayat, A., & Rohman, I. (2022). Development of an Interactive E-Module on Stoichiometry to Improve Student Learning Motivation. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(4), 88-102.
- Rahayu, R. (2016). Analisis kualitas soal pra ujian mata pelajaran ekonomi akuntansi. *Jurnal Pendidikan Akuntansi Indonesia*, 14(1), 85-94.
- Rahman, A., & Wibowo, A. (2023). Development of a PBL-STEM based e-module to enhance problem-solving skills and scientific attitudes in chemistry learning. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 22(5), 112-129.
- Roudhoh, P., Syahri, W., Afrida, A., Hasibuan, M. H. E., & Romundza, F. (2026). Pengembangan e-Modul Materi Kimia Hijau Berbasis Problem Based Learning (PBL) Berbantuan Heyzine Flipbook Berorientasi Kemampuan Berpikir Kritis. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 16(2), 256-265.
- Sari, D. P., & Purnomo, A. (2022). Uncovering student misconceptions on acid-base chemistry using a three-tier diagnostic test. *Journal of Chemical Education Research*, 6(1), 12-25.
- 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.v8i4.7633>
- Shakeel, S. I., Al Mamun, M. A., & Haolader, M. F. A. (2023). Instructional design with ADDIE and rapid prototyping for blended learning: validation and its acceptance in the context of TVET Bangladesh. *Education and Information Technologies*, 28(6), 7601-7630. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11471-0>
- Setiawan, D., & Farida, I. (2023). Analisis Kesulitan Belajar Siswa pada Konsep Abstrak Kimia di Tingkat SMA. *Jurnal Riset dan Praktik Pembelajaran Kimia*, 11(2), 134-145.
- Siregar, R. A., & Simanjuntak, M. P. (2024). The Impact of STEM-Based Project Learning on High School Students' Problem-Solving Abilities in Physics. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 20(1), 45-54.
- Sugiono, (2023). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif dan R&D*. Bandung : Alfabeta.
- Sukarelawan, Irma, M., Indratno, Kus, T., Ayu, Musvita, S. (2024) *N-Gain VS Stacking: Analisis Perubahan Abilitas Peserta Didik dalam Desain One Group Pretest-Posttest*. Yogyakarta : Suryacahya. ISBN978-623-99729-43.
- Subhaktiyasa, PG (2024). *Evaluasi validitas dan reliabilitas instrumen penelitian kuantitatif: Sebuah studi pustaka*. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 5 (4), 5599–5609. <https://doi.org/10.37985/jer.v5i4.1747>
- Susanto, H., & Wulandari, S. (2023). Transformasi Digital dalam Pendidikan: Menuju Pembelajaran yang Relevan dan Berkelanjutan. *Media Cendekia*.
- Tiyasari, S., & Suparman. (2022). Pengembangan Kemampuan Pemecahan Masalah melalui Penggunaan E-modul Berbasis Problem Based Learning. *Jurnal Pengembangan Pembelajaran Matematika*, 4(2), 123–133.
- Wijayanti, L., & Nugroho, A. (2023). The Effect of Problem-Based Learning Model on Students' Critical Thinking Skills in Chemistry Learning. *European Journal of Educational Research*, 12(2), 721-732.