

Designing a Green Chemistry-Based Acid–Base E-Module for Chemistry Learning

Dwi Ajni Shfarwati, Syahrul Bachtiar, Novi Rukhyatul Alawiyah

Universitas Pendidikan Indonesia
dwiajni@upi.edu

Article History

accepted 1/2/2026

approved 1/3/2026

published 31/3/2026

Abstract

The advancement of digital technology requires teachers to master technology-based learning media to create learning processes that are more interactive, engaging, and easier for students to understand. This study aims to design a chemistry practicum e-module on acid–base material for Phase F students oriented toward green chemistry principles. The research employed a qualitative descriptive method conducted through three stages: analysis of learning needs, design of the e-module structure and content, and development of an interactive multimedia-based design. Data were obtained from the analysis of practicum documents, a review of the Phase F Chemistry curriculum, and relevant literature on e-modules, natural indicators, and environmentally oriented chemistry learning. The results produced an e-module with the potential to enhance teachers' digital and pedagogical competencies and to help students understand acid–base concepts contextually through simple experiments using natural materials. The integration of green chemistry principles in each practicum activity also provides a safer, more economical, and sustainability-oriented learning experience aligned with the demands of the Kurikulum Merdeka for Phase F, and further field testing with students is recommended to evaluate its effectiveness.

Keywords: Acid-base, E-Module, Green Chemistry.

Abstrak

Kemajuan teknologi digital menuntut guru menguasai media pembelajaran berbasis teknologi agar proses belajar menjadi lebih interaktif, menarik, dan mudah dipahami peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang e-modul praktikum kimia pada materi asam-basa untuk peserta didik Fase F yang berorientasi pada prinsip green chemistry. Metode yang digunakan penelitian ini adalah deskriptif kualitatif melalui tiga tahapan: analisis kebutuhan belajar, perancangan struktur dan konten e-modul, serta pengembangan desain berbasis multimedia interaktif. Data diperoleh dari analisis dokumen praktikum, telaah kurikulum Kimia Fase F, dan literatur tentang e-modul, indikator alami, serta pembelajaran kimia berwawasan lingkungan. Hasil penelitian berupa e-modul yang berpotensi meningkatkan kompetensi digital dan pedagogik guru serta membantu peserta didik memahami konsep asam-basa secara kontekstual melalui eksperimen sederhana berbahan alami. Integrasi prinsip green chemistry dalam setiap kegiatan praktikum juga memberikan pengalaman belajar yang lebih aman, ekonomis, dan berwawasan keberlanjutan sehingga relevan dengan tuntutan Kurikulum Merdeka pada Fase F. Selanjutnya penelitian ini direkomendasikan untuk dilakukan uji coba secara langsung kepada siswa.

Kata Kunci: Asam-Basa, E-Modul, Green Chemistry.



PENDAHULUAN

Keterbatasan penggunaan media pembelajaran digital membuat siswa mengalami kesulitan dalam memahami materi, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya hasil belajar (Idayanti & Suleman, 2024). Tantangan kurikulum dalam pembelajaran kimia Fase F terletak pada tuntutan penguasaan keterampilan berpikir tingkat tinggi, literasi saintifik, dan pembelajaran yang terdiferensiasi. Namun, implementasi di kelas belum optimal karena keterbatasan media pembelajaran, sulitnya memvisualisasikan konsep abstrak, serta minimnya bahan ajar interaktif yang sesuai dengan konteks peserta didik. Akibatnya, tujuan kurikulum sering tidak tercapai secara maksimal (Masbukhin & Sausan, 2023).

Konteks kimia yang penting untuk menjadikan pembelajaran bermakna dan relevan dengan kehidupan siswa serta isu-isu keberlanjutan lokal dan global (Jegstad, & Sinnes, 2015). Penggunaan E-modul kimia sangat efektif dalam membekali siswa untuk berpikir kritis (Izzania & Sumarni, 2024).

Sebagai konsekuensinya, pengembangan bahan ajar digital yang tidak hanya informatif tetapi juga kontekstual dan ramah lingkungan menjadi kebutuhan mendesak dalam pembelajaran kimia modern. Integrasi prinsip kimia hijau dalam e-modul memungkinkan peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang aman, relevan, serta sejalan dengan isu keberlanjutan, sehingga pembelajaran tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga pada penumbuhan kesadaran ekologis. Dengan demikian, inovasi bahan ajar berbasis teknologi diperlukan untuk menjawab tantangan kurikulum serta meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar peserta didik.

Kesulitan utama dalam pembelajaran asam-basa pada peserta didik adalah tingginya miskonsepsi pada hampir seluruh subtopiknya, termasuk ciri, teori, kekuatan asam-basa, reaksi netralisasi, dan pH larutan (Lathifa, 2018). Selain itu, konsep asam-basa bersifat abstrak karena melibatkan representasi makroskopik, mikroskopik, dan simbolik. Lemahnya kemampuan penalaran matematis serta rendahnya keterkaitan konsep dengan konteks kehidupan sehari-hari juga turut memperkuat hambatan belajar pada materi ini (Musdalifah & Wiyarsi, 2025). Tantangan ini semakin diperbesar oleh kemampuan guru yang masih rendah dalam mengintegrasikan teknologi ke dalam pembelajaran, sehingga pemanfaatan media digital yang dapat membantu visualisasi konsep abstrak dan mengurangi miskonsepsi belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan inovasi bahan ajar berbasis teknologi yang mampu meningkatkan keterlibatan belajar dan memfasilitasi pemahaman konsep secara lebih komprehensif.

Pada materi asam basa tersebut akan sulit dipahami peserta didik jika tidak melakukan praktikum. Tetapi pada praktikum di sekolah sendiri terdapat beberapa permasalahan seperti bahan kimia yang digunakan merupakan bahan kimia sintesis (buatan manusia) yang memiliki sifat berbahaya jika dibuang langsung ke lingkungan. Maka limbah bahan kimia sintesis tersebut diperlukan penanganan khusus dalam pembuangannya. Jika tidak ditangani dengan baik maka dapat merusak lingkungan dan membahayakan makhluk hidup (Yerimadesi, 2019). E-modul terkait materi asam-basa juga masih jarang dikembangkan, sehingga guru dan peserta didik memiliki keterbatasan akses terhadap bahan ajar digital yang interaktif dan kontekstual untuk memperkuat pemahaman konsep (Sihombing, 2025).

Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui praktikum berbahan alami dan praktikum virtual yang dikemas dalam e-modul. Proses pembelajaran ini dapat dirancang bermuatan kimia hijau untuk mengurangi atau mengganti bahan kimia berbahaya dalam reaksi serta meminimalkan limbah yang berdampak buruk bagi lingkungan. Kemudian dalam mengatasi ketiadaan alat laboratorium karena menyediakan simulasi, video, dan panduan penggunaan bahan

alternatif sehingga peserta didik tetap dapat melakukan pembelajaran praktikum secara aman dan bermakna (Marsila, 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang e-modul sebagai bahan ajar mandiri dalam upaya meningkatkan hasil belajar peserta didik. Karena E-modul membantu siswa meningkatkan hasil belajar siswa (Kumalasari, et al., 2023) E-modul tetap menjadi alternatif pembelajaran yang efektif di era digital, terutama dalam kondisi pembelajaran jarak jauh dan bisa di akses kapan saja. E-modul memiliki sejumlah keunggulan, seperti akses yang fleksibel, desain visual yang menarik, serta efektivitas dalam meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis (Sulistiyorini, 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan e-modul praktikum kimia berbasis green chemistry pada materi asam–basa bagi peserta didik Fase F, serta menghasilkan bahan ajar digital yang interaktif, kontekstual, dan ramah lingkungan. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk menjawab rumusan masalah: (1) bagaimana kebutuhan pembelajaran asam–basa pada Fase F ditinjau dari aspek konsep, media, dan praktikum; (2) bagaimana merancang struktur dan konten e-modul yang terintegrasi prinsip green chemistry; dan (3) bagaimana mengembangkan desain e-modul berbasis multimedia interaktif yang mendukung pemahaman konseptual serta literasi digital peserta didik. Dengan perumusan masalah tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi terhadap keterbatasan media pembelajaran dan praktikum kimia di sekolah sekaligus mendukung implementasi pembelajaran yang berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk mendeskripsikan proses analisis kebutuhan, perancangan, dan pengembangan (Sugiyono, 2010). Prosedur penelitian dilaksanakan melalui tiga tahapan utama, yaitu (1) analisis kebutuhan pembelajaran, (2) perancangan struktur dan konten e-modul, serta (3) penyusunan desain berbasis multimedia interaktif.

Analisis data dilakukan menggunakan model analisis interaktif yang meliputi tiga tahapan, yaitu: (1) reduksi data, yaitu proses pemilihan dan penyederhanaan data yang relevan dan bermakna untuk menjawab kebutuhan penelitian; (2) penyajian data dalam bentuk uraian naratif yang menggambarkan hasil wawancara dan telaah dokumen; serta (3) penarikan kesimpulan berdasarkan pola, kategori, dan hubungan antar data yang ditemukan selama proses analisis (Miles, et al., 2014).

Instrumen pengumpulan data meliputi lembar telaah konsep Asam dan Basa yang diperoleh dari berbagai buku teks kimia SMA dan buku general kimia, telaah kurikulum Kimia SMA fase F, dan kajian literatur yang relevan mengenai pengembangan e-modul, penggunaan indikator alami, serta penerapan prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran kimia.

Hasil analisis digunakan untuk mengembangkan e-modul pada materi Asam dan Basa berorientasi *green chemistry* yang diharapkan mampu meningkatkan kompetensi digital dan pedagogik guru dalam mengembangkan pembelajaran kimia yang interaktif, kontekstual, dan berwawasan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kebutuhan Belajar

Kebutuhan akan pengembangan e-modul kimia semakin mendesak seiring dengan meningkatnya tuntutan pembelajaran berbasis teknologi, kebutuhan visualisasi konsep, serta keterbatasan media dan fasilitas pembelajaran di sekolah. Analisis kebutuhan belajar siswa pada materi kimia topik asam-basa memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena melibatkan berbagai representasi makroskopik, mikroskopik, dan simbolik yang sering sulit dipahami siswa jika hanya dijelaskan melalui metode ceramah dan buku teks (Ummah & Nugroho, 2023). Kondisi ini menyebabkan tingginya miskonsepsi pada hampir seluruh subtopik, seperti teori asam-basa, kekuatan asam-basa, pH larutan, serta reaksi netralisasi (Afijah et al., 2023). Pembelajaran konvensional yang minim visualisasi dan interaktivitas belum mampu mendukung pemahaman konseptual secara utuh (Chayani & Ningrum, 2021; Jana & Nada, 2023). Selain itu, keterbatasan fasilitas laboratorium di banyak sekolah membuat praktikum asam-basa tidak dapat terlaksana secara optimal, sementara penggunaan bahan kimia sintesis dalam praktikum juga dapat menimbulkan risiko keselamatan dan pencemaran lingkungan (Asyaura et al., 2023).

Dalam konteks tersebut, e-modul menjadi solusi yang sangat dibutuhkan karena mampu menghadirkan media pembelajaran yang interaktif, kontekstual, dan ramah lingkungan. E-modul dapat menyediakan simulasi virtual, video praktikum, animasi konsep, serta panduan eksperimen berbasis alam yang sesuai dengan prinsip green chemistry, sehingga siswa tetap dapat melakukan eksplorasi ilmiah secara aman dan bermakna meskipun dengan keterbatasan laboratorium (Jana & Nada, 2023). Selain mendukung pembelajaran mandiri dan fleksibel, e-modul juga selaras dengan tuntutan kompetensi abad 21 yang menekankan literasi digital, berpikir kritis, dan pemecahan masalah. Oleh karena itu, pengembangan e-modul asam-basa diperlukan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran, mengurangi miskonsepsi, dan memperkuat literasi sains siswa.

Perancangan Struktur dan Konten

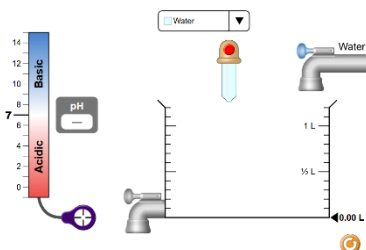
Pada tahap ini dilakukan perancangan struktur dan konten e-modul. Produk e-modul pembelajaran Asam dan Basa berbasis Green Chemistry dikembangkan dengan desain yang menarik dan interaktif, baik dari segi tata letak, warna, maupun struktur penyajian. E-modul ini disusun dalam format sistematis yang terdiri atas halaman sampul, kata pengantar, daftar isi, peta konsep, identitas modul, uraian konsep dan teori esensial, kegiatan praktikum (virtual lab dan praktikum berbasis green chemistry), soal evaluasi, daftar pustaka, serta profil pengembang.

Konten yang dirancang pada E-Modul ini berdasarkan capaian pembelajaran Kimia Fase F yaitu “Menggunakan konsep asam-basa dalam keseharian”. Kemudian dikembangkan menjadi empat tujuan pembelajaran:

1. Menjelaskan konsep asam-basa dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.
2. Membuat indikator alami dari ekstrak paprika, tomat, dan anggur.
3. Menguji sifat asam-basa berbagai larutan menggunakan indikator alami.
4. Menganalisis perubahan warna indikator dan mengaitkannya dengan nilai pH.

Tujuan pembelajaran tersebut disusun berdasarkan sub topik atau konsep esensial dalam Asam-Basa. Konsep esensial yang dijelaskan dalam e-modul ini terdiri atas 1) Pengertian asam-basa menurut teori Bronsted-Lowry dan Lewis; 2) Teori asam basa Arrhenius, Bronsted-Lowry dan Lewis; 3) Karakteristik asam dan basa dalam kehidupannya; 4) Derajat keasaman (pH) dan kekuatan asam-basa; 5) Indikator Asam Basa.

Setelah konsep esensial dijabarkan, aabrulah focus pada dua kegiatan utama dalam E-modul ini. Kegiatan 1 (Virtual Lab) mengarahkan peserta didik untuk mengeksplorasi konsep derajat keasaman (pH) melalui simulasi *PhET Interactive Simulations* dari University of Colorado. Melalui simulasi ini, siswa dapat mengukur nilai pH berbagai larutan, membedakan sifat asam, basa, dan netral, serta menganalisis pengaruh pengenceran terhadap tingkat keasaman larutan.



Gambar 1. Virtual Lab

Sumber: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/ph-scale-basics>

Pembelajaran menggunakan simulasi PhET Interactive Simulations memiliki banyak keunggulan. PhET membantu meningkatkan pemahaman konsep siswa karena menyediakan visualisasi interaktif yang memudahkan mereka mengeksplorasi fenomena ilmiah yang abstrak (Liswar et al., 2023; Rahmawati et al., 2022). Melalui eksperimen virtual, siswa dapat mencoba berbagai kondisi, mengamati hasilnya, dan membangun pemahaman yang lebih kuat terhadap konsep sulit seperti asam–basa (Kizito & Hassan, 2024; Rahmawati et al., 2022; Warsiki, 2023; Yaqutu Burhani et al., 2022). PhET juga mendukung pembelajaran aktif, kolaboratif, dan berbasis inkuiri sehingga siswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga melatih keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah (Harahap et al., 2025; Mashami et al., 2023; Ulfa et al., 2022). Selain itu, PhET mudah diakses, dapat digunakan secara online maupun offline, dan gratis, sehingga memudahkan guru dan siswa untuk mengintegrasikannya ke dalam pembelajaran (Harahap et al., 2025).

Pada kegiatan ini siswa juga diberikan skenario kontekstual, seperti kasus minuman yang terlalu asam atau sabun yang terlalu basa, disajikan untuk melatih keterampilan pemecahan masalah siswa.

Kegiatan 2 (Praktikum Berbasis Green Chemistry) berfokus pada pembuatan indikator alami dari bahan lokal seperti paprika, tomat, dan anggur sebagai alternatif indikator sintesis. Siswa diarahkan untuk membuat ekstrak bahan, menyiapkan kertas indikator, dan menguji perubahan warna terhadap larutan asam, netral, dan basa. Praktikum ini menekankan penerapan prinsip *green chemistry* melalui pemanfaatan bahan yang ramah lingkungan serta meminimalkan limbah kimia.

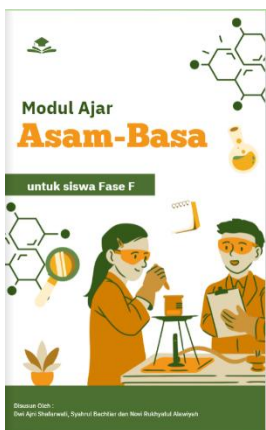
Pembelajaran kimia berbasis green chemistry dengan membuat kertas indikator dan menguji asam–basa menggunakan bahan alami memiliki banyak kelebihan. Penggunaan paprika, tomat, dan anggur sebagai indikator membuat praktikum lebih aman, ramah lingkungan, dan murah karena bahan tersebut mudah ditemukan (Okoduwa et al., 2015; Asmorowati et al., 2024). Kegiatan ini juga membuat siswa lebih tertarik dan aktif, karena mereka dapat langsung mengekstrak warna dan melihat perubahan warna saat menguji larutan (Purnama et al., 2023). Selain memberikan pengalaman belajar yang lebih nyata, praktikum ini membantu siswa mengembangkan kemampuan berpikir kritis, bekerja sama, dan berkomunikasi (Aprilli & Andromeda, 2023; Minarni et al., 2023). Penelitian juga menunjukkan bahwa indikator alami dapat menampilkan perubahan warna yang jelas sesuai pH, sehingga efektif digunakan untuk memahami konsep asam–basa (Riniati et al., 2020).

Pengembangan Desain E-Modul

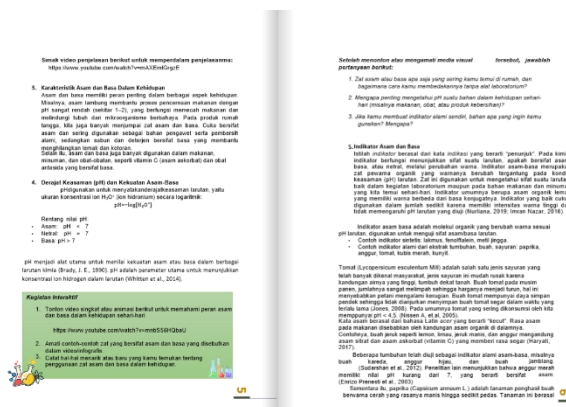
Setiap kegiatan dalam e-modul dilengkapi dengan instruksi langkah-langkah, tabel pengamatan, pertanyaan reflektif, dan eksplorasi mandiri yang mendorong siswa berpikir kritis, kreatif, dan kolaboratif. Selain itu, e-modul menyertakan tautan video pembelajaran, animasi, serta infografis interaktif untuk membantu siswa memahami konsep abstrak secara visual.

Selain penyusunan konten, pengembangan e-modul ini juga melibatkan proses desain visual menggunakan aplikasi Canva untuk menghasilkan tampilan yang estetik, konsisten, dan mudah dibaca oleh peserta didik. Setiap halaman dirancang dengan memperhatikan prinsip keterbacaan, pemilihan warna yang ramah mata, tata letak yang sistematis, serta integrasi elemen multimedia seperti ikon, ilustrasi, dan tautan interaktif.

Setelah proses penyuntingan selesai, e-modul kemudian diubah ke dalam format flipbook menggunakan platform digital sehingga modul memiliki tampilan yang lebih dinamis, interaktif, dan menyerupai buku elektronik yang dapat dibuka halaman demi halaman. Format flipbook ini mempermudah navigasi pengguna, meningkatkan pengalaman membaca, serta mendukung akses melalui gawai seperti laptop maupun gawai. Format ini membantu siswa memahami materi kimia yang abstrak secara lebih jelas dan interaktif serta dapat diakses dari berbagai perangkat. Flipbook juga memudahkan guru menyajikan materi secara variative (Endaryati et al., 2021).



Gambar 3. Cover E-Modul



Gambar 2. Tampilan Kegiatan Interaktif dan Pertanyaan Reflektif Pada Konsep Esensial



Gambar 4. Tampilan Video Pada Penyajian Konsep Esensial

Hasil akhir dari pengembangan e-modul ini diharapkan dapat menjadi bahan ajar mandiri yang mampu meningkatkan pemahaman konsep asam-basa, menguatkan literasi sains dan digital peserta didik, serta mendukung guru dalam melaksanakan pembelajaran kimia yang kontekstual, inovatif, dan berwawasan lingkungan.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan e-modul asam-basa berbasis green chemistry yang dirancang melalui tahapan analisis kebutuhan belajar, perancangan struktur dan konten, serta pengembangan desain interaktif menggunakan multimedia. Hasil kajian menunjukkan bahwa pembelajaran asam-basa membutuhkan media yang mampu memvisualisasikan konsep abstrak, mengurangi miskonsepsi, serta menyediakan alternatif praktikum yang aman dan ramah lingkungan. E-modul yang dikembangkan memuat kegiatan virtual lab, praktikum indikator alami, video pembelajaran, animasi, serta pertanyaan reflektif yang dapat mendukung pemahaman konseptual dan keterampilan berpikir kritis peserta didik. Integrasi bahan alami dan prinsip green chemistry juga memberikan nilai edukatif terkait keberlanjutan lingkungan.

Secara implikatif, e-modul ini berpotensi memperkuat kompetensi digital guru, meningkatkan literasi sains siswa, serta memberikan solusi terhadap keterbatasan fasilitas laboratorium. Penggunaan desain visual Canva dan penyajian akhir dalam format flipbook turut meningkatkan aksesibilitas, interaktivitas, dan fleksibilitas pembelajaran.

Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk melakukan uji coba langsung terhadap efektivitas e-modul pada berbagai konteks sekolah, mengukur dampaknya terhadap hasil belajar dan miskonsepsi, serta mengembangkan fitur tambahan seperti kuis interaktif, augmented reality, atau integrasi asesmen otomatis untuk memperkaya pengalaman belajar digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Afijah, N. S., Drastisianti, A., & Udaibah, W. (2023). Development of E-Module Chemistry oriented Disaster Mitigation of Elemental Chemicals. *SHE: Conference Series*, 6(4), 167–186.
- Aprilli, E., & Andromeda, A. (2023). Efektivitas E-Modul Berbasis Inkuiri Terbimbing Terintegrasi Virtual Laboratory pada Materi Asam Basa terhadap Hasil Belajar Siswa. *Jurnal Pendidikan Mipa*, 13(2), 301–305. <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i2.897>
- Asyaura, H., Rahma Kartika, L., & UIN Walisongo Semarang, K. (2023). Conference Series 6 (4) (2023) 325-331 Design of a Simple Chemical Equilibrium Tool Using Natural Dyes. *Workshop Penulisan Karya Ilmiah Multidisipliner*, 6 (4)(4), 325–331.
- Chayani, D. Y. S., & Ningrum, S. L. (2021). The Effect of The Implementation of Auditory, Intellectually, Repetition (AIR) Learning Model Assisted by Talking Sticks on Students' Argumentation Skills on Buffer Solution Material. *SHE: COncference Series*, 6(4), 167–186.
- Endaryati, S. A., Atmojo, I. R. W., Slamet, S. Y., & Suryandari, K. C. (2021). Analisis E-Modul Flipbook Berbasis Problem Based Learning untuk Memberdayakan Keterampilan Berpikir Kritis Pembelajaran IPA Sekolah Dasar. *DWIJA CENDEKIA: Jurnal Riset Pedagogik*, 5(2), 300. <https://doi.org/10.20961/jdc.v5i2.56190>
- Harahap, F. S., Susetyarini, E., Purwanti, E., Fitri, S., Rukman, N. K., & Pohan, H. M. (2025). PhET simulation in education: A bibliometric analysis of the Scopus database. *Research and Development in Education (RaDeN)*, 5(1), 555–570.

- <https://doi.org/10.22219/raden.v5i1.40504>
- Idayanti, Z., & Suleman, M. A. (2024). E-Modul sebagai Bahan Ajar Mandiri untuk Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 8(1), 127–133. <https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jppp.v8i1.61283>
- Izzania, R. A., & Sumarni, W. (2024). Pengembangan E-Modul Ajar Kimia Hijau Bermuatan Etno-STEM Berbasis Guided Inquiry untuk Membekali Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 18(1).
- Jana, I., & Nada, E. I. (2023). Development of a Chemistry Website Based on Multiple Representations as an Independent Learning Resource on Chemical Bonding Material. *Social, Humanities, and Educational Studies (SHEs): Conference Series*, 6(4). <https://doi.org/10.20961/shes.v6i4.81959>
- Jegstad, K. M., & Sinnes, A. T. (2015). Chemistry teaching for the future: A model for secondary chemistry education for sustainable development. *International Journal of Science Education*, 37(4), 655–683. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.1003988>
- Kizito, I. G., & Hassan, S. (2024). PhET Interactive Simulations As An Effective Tool For Teaching Chemistry: A Review. *International Journal of Innovative Social & Sciences Education Reseach*, 2(12), 166–169.
- Kumalasari, N., Fathurohman, I., & Fakhriyah, F. (2023). Pengembangan E-Modul Berbasis Kearifan Lokal Daerah Grobogan untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Sekolah Dasa. *Jurnal Pedagogy*, 10(2), 554–563.
- Liswar, F., Hidayati, A., Rayendra, R., & Yeni, F. (2023). Use of Phet Interactive Simulation Software in Physics Learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(SpecialIssue), 135–142. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9ispecialissue.5982>
- Marsila, N. (2025). Development of an Acid-Base E-Module Based on Guided Discovery Learning with Ethnoscience Content to Improve Literacy and Numeracy. *Jurnal Teknologi Pendidikan (JTP)*, 9(2), 1125–1135. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i8.12439>
- Masbukhin, F. A. A., & Sausan, I. (2023). Analyzing the Implementation of Kurikulum Merdeka: Insights from Chemistry Educators in Gunung Kidul Vocational Schools. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 11250–11260. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.5991>
- Mashami, R. A., Ahmadi, Kurniasih, Y., & Khery, Y. (2023). Use of PhET Simulations as A Virtual Laboratory to Improve Students' Problem Solving Skills. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(12), 11455–11465. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i12.6549>
- Miles, matthew B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). *Qualitative data Analysis “a methods sourcebook.”* SAGE Publications.
- Minarni, M., Epinur, E., Fuldiaratman, F., & Yusnidar, Y. (2023). Pemanfaatan Limbah Buah dan Sayuran Pasar Sebagai Bahan Baku Pada Pembuatan Indikator Asam Basa Alami Pada Praktikum Kimia Untuk Meningkatkan Kompetensi 4C Peserta Didik SMAN 7 Sarolangun. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Pinang Masak*, 4(1), 15–23. <https://doi.org/10.22437/jpm.v4i1.25408>
- Musdalifah, H., & Wiyarsi, A. (2025). International Journal of Educational Implementation of Differentiated Learning on Acid-Base Material to Improve Learning Motivation and Critical Thinking Skills of High School Students. *International Journal of Educational Evaluation and Policy Analysis*, 2(4), 85–91.
- Okoduwa, S. I. R., Mbora, L. O., Adu, M. E., & Adeyi, A. A. (2015). Comparative analysis of the properties of acid-base indicator of rose (*Rosa setigera*), Allamanda (*Allamanda cathartica*), and hibiscus (*Hibiscus rosa-sinensis*) flowers. *Biochemistry Research International*, 2015.

- <https://doi.org/10.1155/2015/381721>
- Purnama, H., Hayati, K., & Setyaningrum, C. C. (2023). INDIKATOR pH DARI KULIT BUAH NAGA MERAH. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknayasa*, 4(1), 204–209.
- Putri, Yerimadesi, D. F. (2019). Pengembangan Penuntun Pratikum Kimia Berbasis Green Chemistry Untuk Kelas Xi Sma/Ma. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 2(1), 244–253.
- Rahmawati, Y., Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). Journal of Technology and Science Education STUDENTS ' CONCEPTUAL UNDERSTANDING IN CHEMISTRY. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303–326.
- Riniati, R., Widyabudiningsih, D., & Sularasa, A. (2020). Penggunaan Indikator Kubis Ungu Pada Analisis Asam Lemak Bebas dengan Metode Titrasi. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 3(2), 56–64. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol3.iss2.art3>
- Sihombing, N. P. R. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Terintegrasi Kearifan Lokal pada Materi Asam Basa di SMA. *E-Journal UKI*, 6(1), 28–36. <https://doi.org/10.30596/jppp.v6i1.23883>
- Sri Asmorowati, D., Iryani Kristanti, I., Sri Susilogati Sumarti Jurusan Kimia, dan, & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2024). Indonesian Journal of Chemical Science Pembuatan Indikator Asam dan Basa Alami dari Kulit Manggis (*Garcinia mangostana*). *J. Chem. Sci*, 13(1).
- Sugiyono. (2010). *Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sulistiyorini, W. (2022). E-modul sebagai sarana pembelajaran jarak jauh PJJ di era pandemi COVID-19. *Jurnal Teladan*, 7(2), 97–102.
- Ulfa, S. M., 'Ardhuha, J., & Sahidu, H. (2022). Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model Inkuiri Terbimbing Berbantuan Simulasi PhET Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 8(SpecialIssue), 67–75. <https://doi.org/10.29303/jpft.v8ispecialissue.3759>
- Ummah, N. M., & Nugroho, E. D. (2023). The Influence of Steam Project-Based Chemistry Learning with the Assistance of Chems sketch on Learning Outcomes and Creative Thinking Ability on Macromolecular Materials. *SHE: CONference Series*, 6(4), 63–70.
- Warsiki, A. A. P. (2023). PhET Interactive Simulations Berbasis Inquiry Terbimbing Untuk Meningkatkan Aktifitas dan Hasil Belajar Kimia Pada Materi Asam Basa. *Indonesian Journal of Instruction*, 4(2), 133–140. <https://doi.org/10.23887/iji.v4i2.60456>
- Yaqutu Burhani, S. N., Hakim, A., Hadisaputra, S., & Burhanuddin, B. (2022). Analisis Media Pembelajaran PhET Simulations Berbasis Laboratorium Virtual Terhadap Minat Belajar Kimia Selama Masa Pandemi COVID-19. *Chemistry Education Practice*, 5(2), 193–201. <https://doi.org/10.29303/cep.v5i2.3062>