

VALIDITAS MODUL TERMOKIMIA BERBASIS *PROJECT-BASED LEARNING* (PjBL) UNTUK LITERASI SISWA PADA MASALAH PERUBAHAN IKLIM

Fitriani^{1,2*}, Ninis Hadi Haryanti³, Rahmat Yunus⁴, Arif Sholahuddin⁵, Yudha Irhasyuarna⁶, M. Laily Qadry Sukmana⁷

¹MAN Insan Cendekia Tanah Laut, Pelaihari, Kalimantan Selatan, Indonesia

²Magister Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Pascasarjana, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia

³Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

⁴Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

⁵Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia

⁶Pendidikan IPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia

⁷Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

Submit : 19 Juli 2025

Accepted : 20 November 2025

Publish : 23 November 2025

*Corresponding author: fitrianiarhasukmana@gmail.com

Abstrak

Literasi perubahan iklim merupakan kompetensi kunci dalam pendidikan abad ke-21 yang menuntut integrasi strategis ke dalam pembelajaran sains, khususnya kimia. Penelitian ini bertujuan mengembangkan modul ajar termokimia berbasis *project-based learning* (PjBL) yang mengintegrasikan indikator literasi perubahan iklim secara sistematis. Modul dirancang untuk meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan ilmiah, dan kesadaran ekologis peserta didik Madrasah Aliyah. Penelitian menggunakan metode *research and development* (R&D) dengan model 4D; *define, design, develop, dan disseminate*. Proses pengembangan mencakup analisis kebutuhan, perancangan modul, validasi ahli, dan uji coba terbatas. Validasi dilakukan oleh lima ahli menggunakan instrumen berbasis lima aspek kelayakan. Hasil menunjukkan bahwa modul memiliki tingkat validitas sangat tinggi (rerata 97,45), dengan skor sempurna pada aspek pedagogi dan penilaian PjBL. Uji coba menunjukkan bahwa modul efektif meningkatkan partisipasi aktif, pemahaman materi, dan refleksi ekologis peserta didik. Fitur interaktif seperti simulasi, padlet, dan pojok literasi mendorong keterlibatan peserta didik dalam konteks nyata. Studi ini membuktikan bahwa pendekatan PjBL efektif untuk menghubungkan konsep kimia dengan isu keberlanjutan. Modul yang dikembangkan dapat direplikasi dan dikembangkan lebih lanjut untuk memperkuat literasi iklim lintas kurikulum. Implikasinya mendukung transformasi pedagogi kimia menuju pendidikan sains berkelanjutan.

Kata kunci: Inovasi kurikulum sains, kimia kontekstual, literasi perubahan iklim, pembelajaran berbasis proyek.

Sitasi: Fitriani., Haryanti, N. H., Yunus, R., Sholahuddin, A., Irhasyuarna, Y., & Sukmana, M. L. Q. (2025). Validitas modul termokimia berbasis *project-based learning* (PjBL) untuk literasi perubahan iklim. *Journal of Banua Science Education* 6(2), 94-106.

PENDAHULUAN

Literasi perubahan iklim telah berkembang sebagai salah satu kompetensi esensial dalam pendidikan sains abad ke-21, mencerminkan urgensi global terhadap krisis iklim yang semakin mengancam keberlanjutan kehidupan. Literasi ini mencakup pengetahuan, pemahaman konseptual, keterampilan ilmiah, dan sikap reflektif peserta didik terhadap isu-isu iklim, serta kemampuan mengambil keputusan yang tepat berdasarkan informasi ilmiah (Meira-Cardesa & García-Vinuesa, 2021; Suhaimi & Mahmud, 2022). Dalam konteks pendidikan, integrasi literasi perubahan iklim ke dalam kurikulum sains tidak hanya memperkuat relevansi pembelajaran, tetapi juga menjadi sarana strategis untuk membentuk generasi yang sadar lingkungan dan berperan aktif dalam mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Berbagai studi terbaru menunjukkan bahwa integrasi literasi perubahan iklim dalam pembelajaran sains, khususnya kimia, memberikan manfaat pedagogis dan ekologis yang signifikan. Sebagai contoh, penelitian Sagena dkk. (2023) menyoroti penggunaan pendekatan interaktif seperti diskusi dan simulasi visual pada program *climate change class (Triple C)* mampu meningkatkan pemahaman peserta didik mengenai isu lingkungan secara mendalam. Sejalan dengan itu, Nofiana (2017) menekankan bahwa integrasi konsep kimia dengan fenomena iklim, seperti emisi karbon dan energi terbarukan, mendorong pengembangan keterampilan berpikir kritis serta kemampuan peserta didik untuk menghubungkan ilmu pengetahuan dengan kehidupan sehari-hari. Model pembelajaran kontekstual berbasis literasi memungkinkan terjadinya transposisi didaktik yang efektif antara konsep abstrak sains dan tantangan nyata lingkungan.

Namun demikian, praktik pembelajaran sains di kelas masih menunjukkan keterbatasan dalam menerapkan prinsip-prinsip tersebut. Umumnya, pendekatan pembelajaran cenderung *teacher-centered* dan hanya terfokus pada penguasaan konten konseptual. Seperti pada topik termokimia yang hanya ditekankan pada perhitungan kalor dan entalpi tanpa eksplorasi aplikatif terhadap isu lingkungan aktual. Hal ini menyebabkan peserta didik kurang memiliki pemahaman menyeluruh dan kemampuan mengintegrasikan ilmu kimia dengan konteks perubahan iklim (Arwan dkk., 2021). Selain itu, penelitian Monroe dkk. (2017) dan Ramos dkk. (2024) mencatat adanya tantangan signifikan dalam kemampuan guru untuk mengaitkan materi sains dengan isu lingkungan akibat keterbatasan pedagogik dan sumber belajar yang kontekstual.

Masalah utama yang dihadapi dalam pembelajaran kimia terkait literasi perubahan iklim adalah adanya kesenjangan antara pemahaman konseptual dan penerapan kontekstual. Modul ajar yang tersedia cenderung bersifat fragmentaris dan belum secara sistematis mengintegrasikan dimensi keberlanjutan dan lingkungan hidup ke dalam materi pembelajaran. Akibatnya, peserta didik memperoleh pemahaman parsial tanpa keterhubungan dengan tantangan global, seperti emisi karbon atau krisis energi. Sejalan dengan hal itu, Shealy dkk. (2017) menyoroti belum optimalnya pemanfaatan sumber belajar berbasis lingkungan lokal serta ketiadaan materi ajar yang eksplisit menghubungkan sains dengan perubahan iklim.

Salah satu solusi yang banyak dikaji dalam literatur adalah pengembangan modul ajar kontekstual berbasis pendekatan ilmiah dan aktif. Ichsan dkk. (2024) mengusulkan pengembangan modul berbasis model penelitian dan pengembangan (R&D) yang dirancang untuk meningkatkan pemahaman peserta didik mengenai dampak perubahan iklim. Studi serupa oleh Izzatunnisa dkk. (2019) dan Yuliana & Sholichah (2021) telah menunjukkan bahwa penggunaan modul berbasis penemuan dapat meningkatkan literasi sains, meskipun masih terbatas dalam mengaitkan langsung konsep-konsep kimia dengan realitas perubahan iklim.

yang kompleks. Di sinilah letak pentingnya pendekatan pembelajaran yang mampu menjembatani antara konten teoretis dan aksi nyata.

Pendekatan project-based learning (PjBL) muncul sebagai strategi pedagogis yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan tersebut. Monroe dkk. (2017) dan UNESCO (2020) menekankan bahwa model PjBL mampu menumbuhkan kesadaran ekologis dan keterlibatan aktif peserta didik dalam merancang solusi terhadap isu global seperti perubahan iklim. PjBL tidak hanya fokus pada pencapaian hasil belajar kognitif, tetapi juga menekankan proses investigasi ilmiah, kerja kolaboratif, dan refleksi kritis yang sangat relevan dengan pengembangan literasi perubahan iklim. Kim & Jin (2024) menambahkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan kerangka transformatif dalam membentuk agen perubahan di kalangan peserta didik.

Literatur sebelumnya telah mengidentifikasi berbagai keberhasilan penerapan PjBL dalam konteks sains dan lingkungan. Studi Zukmadini & Rohman (2023) menunjukkan bahwa penggunaan proyek berbasis pembuatan biodiesel dan visualisasi data melalui video mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam memahami dampak emisi karbon. Sementara itu, Hikmah dkk. (2023) dan Nurhayati dkk. (2023) menyoroti tantangan adaptasi peserta didik dan guru dalam mengimplementasikan PjBL, khususnya dalam keterbatasan modul ajar yang sistematis dan dukungan praktis. Hal ini menegaskan perlunya pengembangan instrumen pembelajaran yang mendukung praktik PjBL dalam konteks materi kimia, terutama termokimia, yang berorientasi pada isu perubahan iklim.

Dalam konteks tersebut, muncul kesenjangan penelitian yang perlu dijawab adalah belum tersedia modul ajar termokimia yang secara sistematis mengintegrasikan pendekatan PjBL dengan indikator literasi perubahan iklim. Modul yang ada umumnya bersifat parsial, belum mencakup eksplorasi terhadap sumber energi terbarukan, belum mengaitkan konsep entalpi dengan pemanasan global, serta tidak menyediakan aktivitas proyek yang relevan secara sosial dan ekologis. Selain itu, sering kali ditemukan fenomena *loss writing* dan *loss finding* (Guthrie & Wigfield, 2000; Moje dkk., 2008) pada bahan ajar sains, di mana peserta didik mengalami kesulitan memahami atau menarik makna dari bacaan yang tidak kontekstual. Kesenjangan ini menjadi panggilan untuk pengembangan modul ajar yang menggabungkan kekuatan pedagogis PjBL dan konteks keberlanjutan dalam topik termokimia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul ajar termokimia berbasis model PjBL yang dirancang untuk meningkatkan literasi perubahan iklim peserta didik di tingkat Madrasah Aliyah. Modul ini disusun dengan prinsip pembelajaran kontekstual dan transformatif, serta dirancang untuk memenuhi kebutuhan peserta didik dalam mengembangkan pemahaman ilmiah yang mendalam, keterampilan berpikir kritis, dan sikap bertanggung jawab terhadap lingkungan. Kebaruan dari studi ini terletak pada integrasi sistematis indikator literasi perubahan iklim ke dalam struktur dan aktivitas modul ajar termokimia melalui pendekatan PjBL, yang belum banyak dijumpai dalam penelitian sebelumnya. Ruang lingkup studi mencakup pengembangan, validasi, dan uji coba modul ajar dengan fokus pada efektivitasnya dalam meningkatkan literasi iklim dan pemahaman konseptual peserta didik terhadap materi termokimia. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan praktik pedagogi kimia yang berorientasi keberlanjutan serta mendukung transformasi pendidikan sains dalam menghadapi tantangan krisis iklim global.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (*research and development*) dengan model 4D yang terdiri dari empat tahapan utama; *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate* sebagaimana dikemukakan oleh Thiagarajan dkk. (1974) dan diperkuat penggunaannya oleh Cahyadi (2021). Model ini dipilih karena memberikan struktur sistematis dan iteratif dalam mengembangkan perangkat pembelajaran yang valid, praktis, dan efektif, terutama ketika dikaitkan dengan pendidikan kontekstual seperti literasi perubahan iklim dalam pembelajaran kimia.

Penelitian dilaksanakan di MAN Insan Cendekia Tanah Laut, Kalimantan Selatan, Indonesia, yang beralamat di Jalan A. Yani Km. 6, Desa Ambungan, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama delapan bulan, dimulai dari bulan November 2024 hingga Juni 2025, yang mencakup seluruh tahapan pengembangan modul mulai dari identifikasi kebutuhan hingga validasi produk.

Pada tahap *define*, peneliti melakukan identifikasi awal terhadap kebutuhan pembelajaran melalui studi literatur, analisis kurikulum, dan pengumpulan data empiris awal. Kegiatan ini bertujuan untuk merumuskan spesifikasi produk yang akan dikembangkan serta mendefinisikan ruang lingkup konten termokimia yang relevan dengan literasi perubahan iklim. Tahap ini sangat krusial mengingat landasan awal pengembangan produk harus selaras dengan kebutuhan dan tantangan pembelajaran yang nyata di kelas (Arifin, 2017).

Selanjutnya, tahap *design* diarahkan untuk merancang *blueprint* awal dari modul ajar termokimia berbasis PjBL. Desain modul mengintegrasikan indikator literasi perubahan iklim sebagaimana dirumuskan dalam dokumen UNESCO (2020) dan diperkuat oleh kerangka pedagogis dari Monroe dkk. (2017). Pada tahap ini juga dilakukan pemetaan kompetensi, perumusan tujuan pembelajaran, penentuan isi materi, perancangan aktivitas proyek, serta pemilihan media dan sumber belajar.

Tahap *develop* melibatkan proses produksi modul ajar berdasarkan desain awal yang telah disusun. Modul disusun menggunakan *platform* digital *Canva* dan dilengkapi dengan berbagai fitur interaktif seperti tautan *padlet*, simulasi *PhET*, dan video visualisasi yang mendukung literasi perubahan iklim. Setelah modul selesai dikembangkan, dilakukan proses validasi oleh lima orang ahli. Validasi dilakukan untuk memastikan kelayakan isi, kesesuaian pedagogi, keterpaduan dengan prinsip PjBL, dan integrasi literasi perubahan iklim. Validitas dinilai menggunakan instrumen berupa lembar validasi yang mengacu pada lima aspek utama; *subject matter*, *auxiliary information*, *affective consideration*, *pedagogy*, dan penilaian PjBL.

Penilaian dilakukan dengan menggunakan skala Likert empat tingkat, dan nilai yang diperoleh dikalkulasi menggunakan rumus:

$$\text{Validitas} = \frac{\text{Jumlah skor diperoleh}}{\text{Jumlah skor maksimal}} \times 100$$

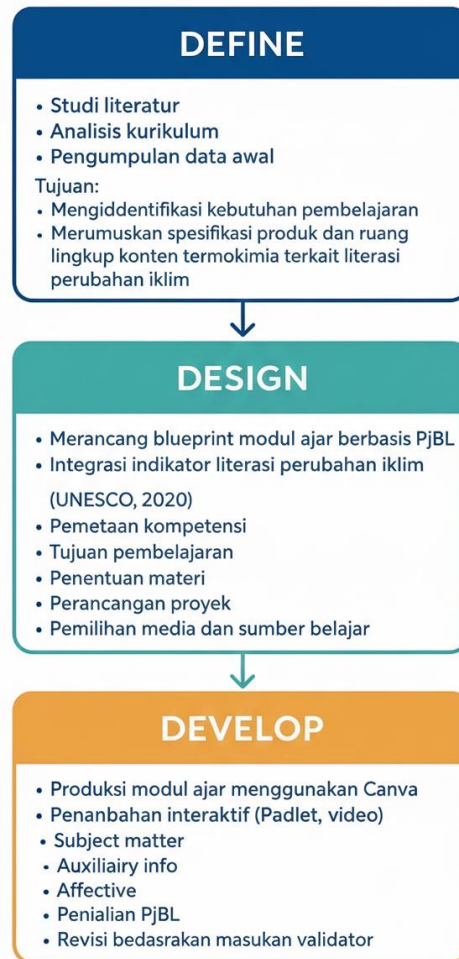
Kategori validitas ditentukan berdasarkan rentang skor sebagai berikut:

Tabel 1. Kategori penilaian validitas

Skor	Keterangan
0 – 20	Sangat tidak valid
21 – 40	Kurang valid
41 – 60	Cukup valid
61 – 80	Valid
81 – 100	Sangat valid

Sumber: Arikunto (2010)

Setelah melalui proses validasi, modul mengalami beberapa revisi berdasarkan masukan dari para validator. Revisi meliputi perbaikan visual pada sampul modul agar mudah dibedakan antara versi awal dan hasil validasi, serta penyempurnaan pada bagian-bagian yang dinilai kurang efektif. Proses revisi ini merupakan bagian integral dari siklus pengembangan dalam model 4D untuk memastikan produk akhir memiliki kualitas yang optimal secara instruksional dan aplikatif seperti digambarkan pada skema berikut.



Gambar 1. Alur pelaksanaan penelitian

Dengan pendekatan metodologis yang sistematis dan berbasis pada model pengembangan yang telah terbukti efektivitasnya dalam pendidikan sains (Ridwan dkk., 2021; Syafe'i dkk., 2022), penelitian ini berupaya menghadirkan modul ajar yang tidak hanya inovatif dari sisi konten dan desain instruksional, tetapi juga berakar kuat pada kebutuhan kontekstual peserta didik dan tantangan pendidikan lingkungan abad ke-21. Penekanan pada integrasi literasi perubahan iklim dalam pembelajaran termokimia melalui PjBL menjadikan modul ini sebagai instrumen pedagogis yang relevan, aplikatif, dan transformatif. Oleh karena itu, metode penelitian ini berperan krusial dalam menjamin bahwa setiap tahap pengembangan produk didasarkan pada prinsip validitas ilmiah, relevansi pendidikan, serta responsivitas terhadap tantangan ekologis global.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan keberhasilan pengembangan dan validasi modul ajar termokimia berbasis PjBL yang secara eksplisit mengintegrasikan indikator literasi perubahan iklim dalam pembelajaran kimia untuk peserta didik Madrasah Aliyah Fase F. Berdasarkan kerangka model 4D yang diterapkan secara sistematis melalui tahap *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate*, hasil penelitian disajikan dalam dua fokus utama: struktur modul dan karakteristik isi, serta validitas modul ajar berdasarkan evaluasi ahli.

Modul ajar yang dikembangkan dirancang sebagai bahan ajar multimodal yang tidak hanya menyampaikan materi termokimia secara konseptual, tetapi juga membangun koneksi antara konsep entalpi, kalor, dan energi dengan isu lingkungan global. Modul terbagi menjadi dua komponen: modul panduan guru dan modul peserta didik, yang masing-masing mencakup konten substantif, strategi pembelajaran berbasis proyek, aktivitas eksperimen, dan refleksi ekologis. Inovasi desain didukung dengan fitur digital interaktif seperti simulasi pembakaran, visualisasi biodiesel, *padlet* reflektif, dan pojok literasi berbasis sumber jurnal dan video. Penggunaan fitur ini sejalan dengan rekomendasi Yáñez-Pérez dkk. (2024) bahwa integrasi teknologi pembelajaran dapat meningkatkan pengalaman belajar dan keterlibatan peserta didik terhadap isu sains kontemporer.

Gambar 2 memperlihatkan visualisasi empat indikator utama literasi perubahan iklim yang diintegrasikan dalam modul ajar. Indikator tersebut mencakup kesadaran akan dampak perubahan iklim, pemahaman penyebab perubahan iklim, pemahaman dasar ilmiah perubahan iklim, dan keterlibatan dalam aktivitas riset sederhana mengenai mitigasi perubahan iklim. Tiap indikator ini dihubungkan langsung dengan subtopik dalam materi termokimia seperti reaksi eksoterm dan endoterm, perhitungan perubahan entalpi, dan pembakaran bahan bakar fosil.



Gambar 2. Ilustrasi integrasi indikator literasi perubahan iklim pada materi ajar: (a) Indikator menyadari dampak perubahan iklim; (b) indikator pemahaman dasar perubahan iklim; (c) indikator pemahaman penyebab perubahan iklim; (d) indikator melakukan penelitian terkait perubahan iklim.

Pada tahap pengembangan, validasi dilakukan oleh lima ahli yang menilai kelayakan modul berdasarkan lima kategori; *subject matter*, *auxiliary information*, *affective consideration*, *pedagogy*, dan penilaian PjBL. Hasil validasi menunjukkan bahwa seluruh aspek berada pada kategori "sangat valid" dengan skor rata-rata keseluruhan sebesar 97,45. Skor tertinggi diperoleh pada aspek *Pedagogy* dan Penilaian PjBL yang masing-masing mencapai skor maksimal 100. Hasil ini menegaskan bahwa struktur dan strategi pedagogis dalam modul sesuai dengan prinsip pembelajaran berbasis proyek yang menekankan pada aktivitas kolaboratif, eksploratif, dan reflektif (Monroe dkk., 2017).

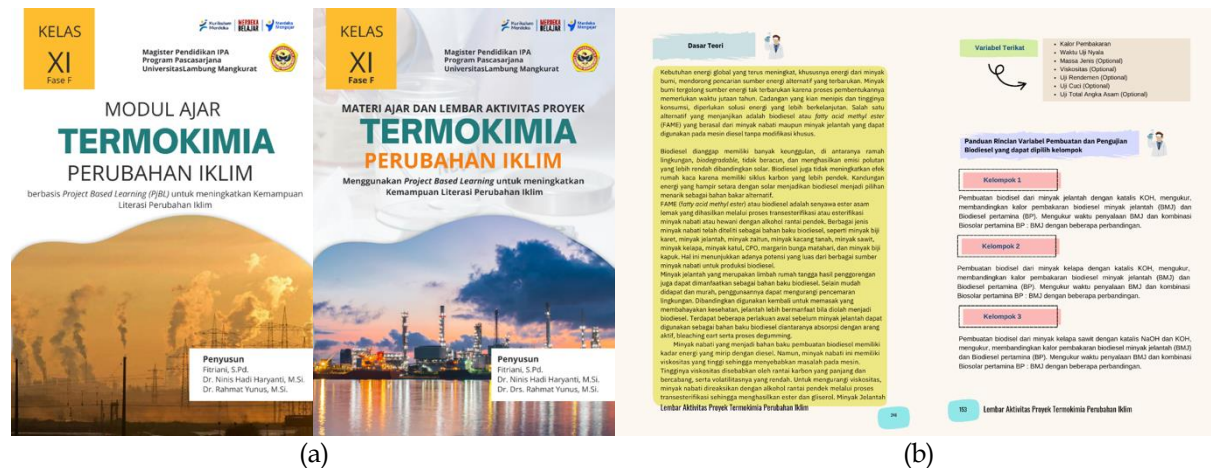
Tabel 2. Hasil uji validasi modul ajar

Konstruksi Umum	Nilai Validator					Rerata
	I	II	III	IV	V	
Komponen modul ajar	97,06	93,38	95,59	100,00	97,79	96,76
Subject matter	100,00	96,57	95,10	100,00	97,55	97,84
Auxiliary information	96,43	98,21	91,07	100,00	98,21	96,79
Affective consideration	91,67	100,00	83,33	100,00	91,67	93,33
Pedagogy	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Penilaian PjBL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Rerata	97,53	98,03	94,18	100,00	97,54	
Rerata total			97,45			

Sumber: Hasil analisis (2025)

Temuan ini selaras dengan hasil studi sebelumnya oleh Hastuti dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek yang terstruktur mampu membangun koneksi konseptual peserta didik terhadap isu global, sekaligus mendorong pemahaman sains yang lebih aplikatif. Validitas tinggi modul ini juga menunjukkan koherensi antara tujuan pedagogis dengan format penyampaian materi berbasis literasi ilmiah dan lingkungan.

Selain dari sisi validitas, aspek visual dan desain modul juga mengalami perbaikan sesuai masukan validator. Perubahan ini termasuk pembaruan desain sampul, penambahan petunjuk penggunaan fitur digital, serta revisi narasi kegiatan proyek agar lebih kontekstual dan eksploratif. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan versi awal dan hasil revisi modul berdasarkan rekomendasi ahli.



Gambar 3. Perbaikan visual modul ajar (a) dan komponen pedagogis (b) sesuai masukan validator

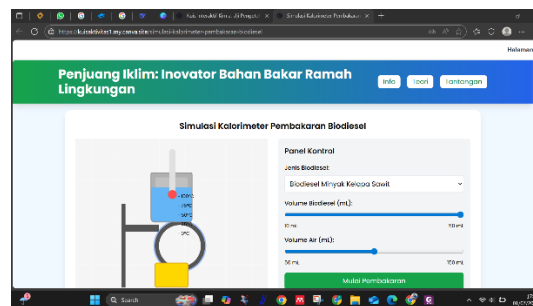
Finkenstaedt-Quinn dkk. (2018) menyatakan bahwa keterlibatan peserta didik dalam eksperimen terapan mendorong pemahaman lebih dalam terhadap konsep kimia dan meningkatkan literasi ilmiah secara holistik. Dalam konteks ini, peserta didik tidak hanya memahami konsep termodinamika secara teoritis, tetapi juga mengaitkannya dengan solusi energi berkelanjutan sebagai bagian dari mitigasi perubahan iklim.

Integrasi literasi perubahan iklim pada modul difasilitasi pada berbagai fitur pada modul seperti yang ditunjukkan Gambar 4, diantaranya pada *padlet* yang berisi sumber informasi berupa video, jurnal terkait sebagai sumber belajar dalam merancang produk pada aktivitas proyek. Fitur-fitur lainnya pada *link to learning* seperti simulasi penentuan kalor pembakaran dan simulasi pengujian kadar lemak bebas sebagai tahapan pembuatan biodiesel yang dikembangkan

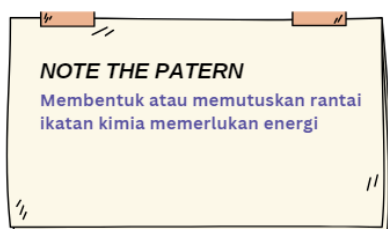
melalui *canva AI*, serta simulasi *PhET* memfasilitasi integrasi literasi perubahan iklim pada modul. Fitur pendukung lainnya seperti, "note the pattern", "chemistry in everyday life", serta aktivitas pada lembar proyek menjadi fitur pendukung yang memperkuat proses pemahaman konseptual dan keterhubungan informasi ilmiah dengan sumber belajar digital yang relevan. Sebagaimana dijelaskan oleh Pratiwi & Santyasa (2021), penggunaan platform digital dalam pembelajaran kimia memungkinkan aksesibilitas tinggi terhadap sumber belajar dan memperkuat dimensi multimodal dalam pengembangan literasi ilmiah.



(a)



(b)



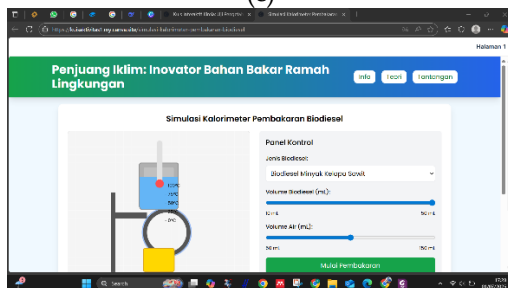
(c)

AYO BERLATIH #10

Ayo berlatih #10 silahkan anda klik tautan atau barcode berikut. Link berisi "Kuis Interaktif terkait konsep termokimia perubahan iklim dan energi terbarukan. Selamat Berlatih !!!"



(d)



(e)



(f)

Gambar 4. Fitur interaktif dalam modul: a) *Link padlet* terhubung modul yang berisi berbagai sumber belajar pendukung, (b) Simulasi kalor pembakaran yang terhubung pada *link to learning* pada modul, (c) *Note the pattern*, (d) Link simulasi ayo berlatih, (e) Link simulasi kalor pembakaran, (f) PojoK literasi

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan inovasi pembelajaran kimia berbasis lingkungan dan keberlanjutan. Modul ajar yang dikembangkan tidak hanya menjawab kebutuhan akan pendekatan kontekstual dalam pembelajaran termokimia, tetapi juga membentuk pemahaman ekologis dan literasi perubahan iklim yang mendalam. Modul ini juga berpotensi menjadi model replikasi dalam konteks pembelajaran sains lainnya yang membutuhkan integrasi antara konten ilmiah dan isu global.

Studi ini memperkuat temuan dari penelitian Ichsan dkk. (2024) dan Kim & Jin (2024) yang menyatakan bahwa pembelajaran sains yang berorientasi pada aksi nyata dan kontekstual mampu meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan ilmiah, dan kesadaran ekologis peserta didik.

Oleh karena itu, hasil ini menunjukkan pentingnya dukungan institusional dan kebijakan pendidikan untuk mengadopsi model pembelajaran PjBL berbasis literasi perubahan iklim sebagai strategi pedagogis utama dalam kurikulum sains abad ke-21.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan modul ajar termokimia berbasis PjBL dapat meningkatkan kemampuan literasi perubahan iklim peserta didik. Temuan ini menguatkan premis bahwa pembelajaran berbasis proyek mampu menjembatani kesenjangan antara teori kimia dan isu-isu kontekstual dalam kehidupan nyata, khususnya dalam memahami dinamika perubahan iklim. Modul yang dikembangkan tidak hanya memuat materi termokimia, tetapi juga secara sistematis mengintegrasikan indikator literasi perubahan iklim melalui aktivitas eksploratif, eksperimen, refleksi, dan penyusunan proyek yang kontekstual.

Integrasi antara termokimia dan isu perubahan iklim telah lama direkomendasikan dalam literatur pendidikan kimia (Mahaffy dkk., 2017; Wilson, 2024), namun implementasinya di ruang kelas masih terbatas. Penelitian ini menutup kesenjangan tersebut dengan menyusun modul ajar yang tidak hanya valid secara isi dan pedagogik, tetapi juga aplikatif dalam konteks kelas dan relevan terhadap tantangan global. Modul ini memperlihatkan bagaimana konten ilmiah seperti kalor reaksi dan entalpi dapat digunakan sebagai instrumen pemahaman terhadap isu emisi karbon, pembakaran bahan bakar fosil, dan strategi mitigasi energi alternatif.

Tingginya skor validasi (97,45) dari lima validator pada aspek *pedagogy* dan penilaian PjBL menunjukkan bahwa struktur instruksional modul telah sesuai dengan prinsip PjBL yang dikembangkan oleh Monroe dkk. (2017). Skor maksimal pada aspek ini mencerminkan kekuatan desain pembelajaran dalam mendorong pembelajaran kolaboratif, reflektif, dan eksploratif yang menekankan peran aktif peserta didik dalam membangun pengetahuan dan kesadaran ekologis. Hal ini mendukung temuan Ichsan dkk. (2024) bahwa model pengembangan berbasis proyek efektif dalam menumbuhkan literasi perubahan iklim secara holistik.

Modul ajar ini juga berhasil memadukan fitur teknologi digital sebagai sarana literasi ilmiah. Sebagaimana ditunjukkan dalam hasil, fitur seperti *padlet*, simulasi pembakaran, visualisasi biodiesel, dan pojok literasi memberikan pengalaman belajar multimodal yang sejalan dengan temuan Yáñez-Pérez dkk. (2024). Penggunaan sumber digital ini memperkaya proses belajar dan memperluas akses terhadap informasi ilmiah, sehingga memungkinkan peserta didik untuk melakukan analisis dan evaluasi informasi yang lebih kompleks.

Temuan ini sejalan dengan studi Pratiwi & Santyasa (2021) yang menunjukkan bahwa integrasi sumber belajar digital dalam pembelajaran kimia mendukung keterlibatan peserta didik serta meningkatkan pemahaman konseptual mereka. Keberadaan fitur interaktif ini menjawab tantangan literasi ilmiah yang diungkap oleh Moje dkk. (2008) dan Guthrie & Wigfield (2000) tentang "*loss writing*" dan "*loss finding*", di mana peserta didik sering mengalami kesulitan dalam mengakses dan memahami informasi sains dalam konteks kehidupan nyata.

Dari perspektif substansi, isi modul ajar tidak hanya mencakup penjelasan konseptual tentang reaksi eksoterm dan endoterm, melainkan juga mengaitkan konsep tersebut dengan fenomena iklim global seperti pemanasan global, peningkatan CO₂, dan pengasaman laut. Keterhubungan ini memungkinkan peserta didik untuk menempatkan kimia sebagai ilmu yang berperan strategis dalam mengatasi isu keberlanjutan. Sebagaimana ditunjukkan oleh Hastuti dkk. (2023), pengaitan konsep kimia dengan isu lingkungan terbukti meningkatkan keterlibatan peserta didik serta memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna.

Kegiatan praktikum pembuatan biodiesel yang dimuat dalam modul berfungsi sebagai pengalaman belajar konkret bagi peserta didik untuk menghubungkan teori dengan praktik. Dalam eksperimen ini, peserta didik menganalisis efisiensi energi dan potensi energi terbarukan melalui pendekatan ilmiah berbasis data dan refleksi. Temuan ini memperkuat pendapat Finkenstaedt-

Quinn dkk. (2018) bahwa pembelajaran berbasis eksperimen kontekstual mampu membentuk pemahaman mendalam serta meningkatkan keterampilan ilmiah peserta didik. Praktikum ini sekaligus mengembangkan kompetensi kognitif, afektif, dan psikomotorik secara terintegrasi.

Aktivitas berbasis proyek dinilai mampu mendorong kolaborasi, komunikasi, serta sikap proaktif terhadap masalah lingkungan. Hal ini mencerminkan bahwa model PjBL berfungsi tidak hanya sebagai pendekatan pedagogis, tetapi juga sebagai strategi pembentukan karakter ekologis yang dibutuhkan dalam pendidikan abad 21 (Kim & Jin, 2024; UNESCO, 2020).

Dengan demikian, pembelajaran kimia berbasis PjBL dalam konteks literasi perubahan iklim yang diimplementasikan dalam modul ini memiliki dampak strategis terhadap perluasan fungsi pendidikan sains. Modul ini tidak hanya berperan sebagai media transfer pengetahuan, tetapi juga sebagai alat transformasi untuk membentuk peserta didik yang reflektif, kritis, dan bertanggung jawab dalam merespons isu perubahan iklim. Sebagaimana ditekankan oleh Ortega-Quevedo dkk. (2024), pendidikan sains berbasis literasi lingkungan perlu dikembangkan sebagai strategi jangka panjang dalam pendidikan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menguatkan pentingnya pengembangan modul ajar kimia yang kontekstual dan berbasis proyek untuk meningkatkan literasi perubahan iklim. Modul ini memberikan kontribusi empiris dan praktis terhadap upaya integrasi sains dan isu global dalam pembelajaran formal, serta menjadi acuan bagi pengembangan kurikulum sains yang lebih responsif terhadap tantangan ekologis.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan modul ajar termokimia berbasis PjBL yang secara eksplisit mengintegrasikan indikator literasi perubahan iklim dalam pembelajaran kimia tingkat Madrasah Aliyah. Modul ini dinyatakan sangat valid dengan skor rata-rata 97,45, khususnya pada aspek pedagogik dan penilaian berbasis proyek. Integrasi fitur digital seperti simulasi *PhET*, *padlet* reflektif, dan pojok literasi turut mendukung pengembangan literasi ilmiah dan memungkinkan akses terhadap informasi kontekstual. Pengalaman belajar multimodal yang dihadirkan memberikan ruang bagi peserta didik untuk berpikir kritis, kolaboratif, dan reflektif terhadap isu iklim global. Temuan ini memperluas *body of knowledge* dalam bidang pendidikan kimia dengan menunjukkan efektivitas model PjBL untuk penguatan literasi perubahan iklim. Penelitian ini menjadi dasar penting bagi pengembangan kurikulum sains yang lebih kontekstual dan berorientasi keberlanjutan. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengukuran dampak jangka panjang modul terhadap perubahan sikap ekologis peserta didik serta perluasan penerapan model ini di berbagai jenjang dan mata pelajaran sains lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Z. (2017). *Evaluasi Pembelajaran* (10th ed.). PT Remaja Rosdakarya.
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Rineka Cipta.
- Arwan, J. F., Dewi, L., & Wahyudin, D. (2021). Urgensi pendidikan berbasis perubahan iklim untuk pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan*, 22(2).
- Cahyadi, A. (2021). *Esensi Pengembangan Pembelajaran Berbasis Multimedia*. CV Mahata (Magna Raharja Tama).
- Finkenstaedt-Quinn, S. A., Hudson-Smith, N. V., Styles, M. J., Maudal, M. K., Juelfs, A. R., & Haynes, C. L. (2018). Expanding the educational toolset for chemistry outreach: Providing a chemical view of climate change through hands-on activities and demonstrations

- supplemented with TED-Ed videos. *Journal of Chemical Education*, 95(6), 985–990. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00948>
- Guthrie, J. T., & Wigfield, A. (2000). Engagement and motivation in reading. *Handbook of Reading Research*, Vol. III, 403–422.
- Hastuti, Ambiyar, Jalinus, N., Syahril, & Nurhasan Syah. (2023). Project-based learning to enhance creativity and learning outcomes. *Proceedings of the 9th International Conference on Technical and Vocational Education and Training (ICTVET 2022)*, 67–73.
- Hikmah, S. I., Tukiran, T., & Nasrudin, H. (2023). Validity of student worksheets based on model argument driven inquiry integrated by STEM to train students' argumentation ability and self-efficacy in chemical equilibrium material. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 4(4), 416–433. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v4i4.300>
- Ichsan, I., Satria, E., Santosa, T. A., Yulianti, S., & Amalia, K. N. (2024). Implementation of blended learning in improving science literacy of SMA/MA in Indonesia: A meta-analysis. *International Journal of Education and Literature*, 3(1).
- Izzatunnisa, I., Andayani, Y., & Hakim, A. (2019). Pengembangan LKPD berbasis pembelajaran penemuan untuk meningkatkan kemampuan literasi sains peserta didik pada materi kimia SMA. *Jurnal Pijar Mipa*, 14(2), 49–54. <https://doi.org/10.29303/jpm.v14i2.1240>
- Kim, M., & Jin, Q. (2024). 9-10-year-old children's understanding of climate change. *International Journal of Elementary Education*, 13(1), 13–22.
- Mahaffy, P. G., Holme, T. A., Martin-Visscher, L., Martin, B. E., Versprille, A., Kirchhoff, M., McKenzie, L., & Towns, M. (2017). Beyond “inert” ideas to teaching general chemistry from rich contexts: Visualizing the chemistry of climate change (VC3). *Journal of Chemical Education*, 94(8), 1027–1035. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b01009>
- Meira-Carteia, P. Á., & García-Vinuesa, A. (2021). De la alfabetización climática a la necesidad de la educación para el cambio climático: Estado actual y retos en el alumnado de la Universidad de Santiago de Compostela. In *Turbilhão de Ventanias e Farrapos, Entre Brisas e Esperançares* (pp. 39-86).
- Moje, E. B., Overby, M., Tysvaer, N., & Morris, K. (2008). The complex world of adolescent literacy: Myths, motivations, and mysteries. *Harvard Educational Review*, 78(1), 107–154.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2017). Identifying effective climate change education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791–812.
- Nofiana, M. (2017). Profil kemampuan literasi sains siswa SMP di Kota Purwokerto ditinjau dari aspek konten, proses, dan konteks sains. *JSSH (Jurnal Sains Sosial Dan Humaniora)*, 77–84. <https://doi.org/10.30595/jssh.v1i2.1682>
- Nurhayati, B., Jamaluddin, F. J., Daud, F., Saenab, S., Hadis, A., Hadis, N. I. R., & Remiza. (2023). An extraordinary duet: Integration of PjBL and STEM to promote student's motivation, scientific literacy skills, and students learning outcomes. *European Journal of Education and Pedagogy*, 4(3), 42–47. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2023.4.3.639>
- Ortega-Quevedo, V., López-Luengo, M. A., Ferrari, E., & Ruiz, C. (2024). Evaluating climate change competence in pre-teens: Instrument development and validation. *Journal of Environmental Psychology*, 96, 102329. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2024.102329>
- Pratiwi, N. W. E., & Santyasa, I. W. (2021). Project-based with flipped learning. In *5th Asian Education Symposium 2020 (AES 2020)* (pp. 186-190) <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210715.040>
- Ramos, R., Rodrigues, M. J., & Rodrigues, I. (2024). Activity proposals to improve children's climate literacy and environmental literacy. *Education Sciences*, 14(2).

- Ridwan, A., Rahmawati, Y., & Hadinugrahaningsih, T. (2021). STEAM integration in chemistry learning for developing 21st century skills. *Mier Journal of Educational Studies Trends & Practices*, 184–194. <https://doi.org/10.52634/mier/2017/v7/i2/1420>
- Sagena, U. W., Azizsyah, S. N., Panjaitan, O., Masjaya, M, M. H., & Sharifuddin, M. D. K. (2023). Program triple C (climate change class) untuk peningkatan kesadaran lingkungan bagi anak. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(4), 3238–3249.
- Shealy, T., Klotz, L., Godwin, A., Hazari, Z., Potvin, G., Barclay, N., & Cribbs, J. (2017). High school experiences and climate change beliefs of first year college students in the United States. *Environmental Education Research*, 25(6), 925–935.
- Suhaimi, N., & Mahmud, S. N. D. (2022). A bibliometric analysis of climate change literacy between 2001 and 2021. *Sustainability*, 14(19).
- Syafe'i, S. S., Sausan, S., Afifah, H., Efliani, E., & Gunella, G. (2022). Validity e-learning of chemistry learning based on PjBL (project-based learning) model for thermochemistry material with flipped classroom approach for eleventh grade high school. *Jhice*, 2(01), 28–35. <https://doi.org/10.24036/jhice/vol2-iss01/18>
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook*. Leadership Training Institute/Special Education, University of Minnesota.
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. UNESCO.
- Wilson, P. (2024). *A simple climate change projection for the concerned public*. UCL Press.
- Yáñez-Pérez, I., Toma, R. B., & Meneses-Villagrà, J. Á. (2024). Design and usability evaluation of a mobile app for elementary school inquiry-based science learning. *School Science and Mathematics*, 125(3), 247–258. <https://doi.org/10.1111/ssm.18303>
- Yuliana, I. F., & Sholichah, N. (2021). Pengembangan modul termokimia berbasis multi representasi untuk melatih literasi kimia mahasiswa pada materi termokimia. *Chemistry Education Practice*, 4(2), 179–185. <https://doi.org/10.29303/cep.v4i2.2454>
- Zukmadini, A. Y., & Rohman, F. (2023). Edukasi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim menggunakan film dokumenter. *Kumawula: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1), 191–203. <https://doi.org/10.24198/kumawula.v6i1.39503>

VALIDITY OF PROJECT-BASED LEARNING (PjBL) BASED THERMOCHEMISTRY MODULE FOR STUDENT LITERACY ON CLIMATE CHANGE ISSUES

Abstract

Climate change literacy is a key competency in 21st-century education that demands strategic integration into science learning, particularly chemistry. This study aims to develop a thermochemistry teaching module based on project-based learning (PjBL) that systematically integrates climate change literacy indicators. The module is designed to improve conceptual understanding, scientific skills, and ecological awareness of Madrasah Aliyah students. The study used a research and development (R&D) method with the 4D model: define, design, develop, and disseminate. The development process included needs analysis, module design, expert validation, and limited trials. Validation was carried out by five experts using an instrument based on five feasibility aspects. The results showed that the module has a very high level of validity (average 97.45), with perfect scores on the PjBL pedagogical and assessment aspects. The trial demonstrated that the module effectively increased students' active participation, material understanding, and ecological reflection. Interactive features such as simulations, padlets, and literacy corners encouraged students' engagement in real-world contexts. This study proves that the PjBL approach is effective in connecting chemistry concepts with sustainability issues. The developed module can be replicated and further developed to strengthen climate literacy across the curriculum. The implications support the transformation of chemistry pedagogy toward sustainable science education.

Keywords: Science curriculum innovation, contextual chemistry, climate change literacy, project-based learning.