



## **Pengembangan E-Modul Berbasis *Problem-Based Learning* pada Materi Termodinamika Sebagai Sarana Melatih Berpikir Kritis Siswa SMA**

**Siti Aisyah, Hamdi Akhsan\*, Kistiono**

Magister Pendidikan Fisika, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

---

### **Abstrak**

Materi termodinamika dalam pembelajaran fisika SMA sering dianggap abstrak dan sulit dipahami siswa, terutama karena dominasi metode pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru dan minim aktivitas kognitif tingkat tinggi. Hal ini menyebabkan rendahnya pemahaman konseptual serta keterampilan berpikir kritis siswa. Penelitian ini bertujuan mengembangkan e-modul fisika berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) pada materi termodinamika untuk siswa kelas XI SMA yang valid dan praktis. Pengembangan menggunakan model 4D (*Define, Design, Develop*) tanpa tahap *Disseminate*. Validasi dilakukan oleh tiga ahli (materi, pembelajaran, dan media), sedangkan uji coba terbatas melibatkan siswa SMA PGRI Gelumbang, Sumatera Selatan. Hasil menunjukkan bahwa seluruh aspek e-modul meliputi kelayakan isi, strategi pembelajaran, desain grafis, *pendekatan Problem Based Learning*, asesmen, dan relevansi dengan karakteristik peserta didik berada pada kategori "Sangat Valid" (rata-rata keseluruhan 92,29%). Respons siswa dalam uji coba terbatas juga menunjukkan tingkat kepraktisan "Sangat Praktis" (rata-rata keseluruhan 81,33%). Dengan demikian, e-modul ini layak digunakan sebagai media pembelajaran untuk memfasilitasi siswa dalam memahami konsep termodinamika.

---

Masuk:  
18 Maret 2026  
Diterima:  
16 Juni 2026  
Diterbitkan:  
30 Juni 2026

---

**Kata kunci:**  
E-Modul,  
Keterampilan Berpikir  
Kritis, *Problem-Based learning*,  
Termodinamika.

### **PENDAHULUAN**

Pembelajaran abad ke-21 menuntut peserta didik untuk memiliki berbagai keterampilan berpikir tingkat tinggi, salah satunya adalah keterampilan berpikir kritis. Kemampuan ini penting agar siswa mampu menganalisis informasi, mengevaluasi berbagai alternatif pemecahan masalah, serta mengambil keputusan yang tepat dalam situasi kompleks (Gunartha, 2024). Pada konteks pendidikan sains khususnya fisika, keterampilan berpikir kritis menjadi semakin penting karena proses pemecahan masalah ilmiah menuntut siswa untuk tidak hanya menghafal konsep, tetapi juga memahami, menginterpretasi, dan menerapkan konsep tersebut dalam berbagai situasi nyata (Puspitasari, 2024).

Termodinamika merupakan salah satu materi fisika yang dianggap sulit oleh banyak siswa SMA. Materi ini bersifat abstrak dan membutuhkan kemampuan penalaran logis serta pemahaman konsep yang kuat untuk dapat memecahkan masalah terkait kalor, energi, dan hukum-hukum termodinamika. Namun, dalam praktik pembelajaran, guru sering kali masih menggunakan metode ceramah atau pendekatan yang berpusat pada guru, sehingga siswa menjadi pasif dan hanya menerima informasi tanpa diberi kesempatan untuk mengembangkan penalaran kritis. Hal ini berdampak pada rendahnya pemahaman konseptual siswa dan kurang optimalnya kemampuan berpikir kritis mereka (Afika dkk., 2024).

---

\*Korespondensi: hamdi akhsan

 hamdiakhsan@fkip.unsri.ac.id

 Universitas Sriwijaya,

Jalan Palembang-Prabumulih, KM 32 Inderalaya, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan

Salah satu pendekatan yang dianggap efektif untuk meningkatkan keterlibatan aktif siswa sekaligus menstimulasi berpikir kritis adalah *Problem Based Learning* (PBL). Model pembelajaran ini mengajak siswa untuk memecahkan masalah nyata sebagai titik awal proses belajar. PBL mendorong siswa untuk mengeksplorasi konsep, berdiskusi, bekerja sama, serta membangun pemahaman melalui pengalaman langsung dalam memecahkan masalah (Putri, 2025). Pembelajaran berbasis PBL dianggap dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan pemecahan masalah, dan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa. Meskipun demikian, ketersediaan modul pembelajaran berbasis PBL yang terstruktur dan tervalidasi, khususnya pada materi termodinamika, masih terbatas (Indrapangastuti, 2023; Yolanda, 2021). Banyak sekolah belum memiliki bahan ajar yang mampu mengintegrasikan prinsip-prinsip PBL secara sistematis sekaligus menyesuaikan dengan karakteristik materi dan kebutuhan belajar siswa. Melalui model pembelajaran PBL siswa diharapkan mampu untuk mengembangkan pengetahuan dan memberikan gagasan maupun ide dengan pendapatnya sehingga peserta didik akan lebih mudah dalam memahami berbagai macam konsep dalam pembelajaran khususnya pada materi termodinamika (Syahputri dkk., 2025; Chen dkk., 2011; Nurhafizah dkk., 2025).

Beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa materi termodinamika salah satu topik paling abstrak dalam kurikulum Fisika SMA yang mana sering kali dipahami secara permukaan oleh siswa karena dominasi pembelajaran berbasis hafalan dan latihan rumus (Aprilia dkk., 2022; Loverude dkk., 2023). Sebagian besar siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep termodinamika karena metode pembelajaran yang masih minim inovasi, terutama dalam hal pemanfaatan pendekatan yang mendorong keterlibatan kognitif mendalam (Yolanda, 2021). Kondisi ini memunculkan urgensi akan

perlunya pendekatan baru dalam pembelajaran Fisika yang mampu mengembangkan kemampuan berpikir kritis sebagai fondasi pemahaman konseptual (Azhari dkk., 2025; Puspitasari, 2024). Sementara itu, pendekatan *Problem-Based Learning* (PBL) telah terbukti efektif dalam membantu siswa membangun pemahaman konseptual melalui eksplorasi masalah kontekstual dan kolaboratif. Penelitian oleh Goovaerts dkk., (2019) menunjukkan bahwa modul berbasis masalah yang terintegrasi STEM pada materi termodinamika khususnya kalor dan perpindahan panas mampu meningkatkan motivasi serta pemahaman konsep dibandingkan pembelajaran konvensional. Demikian pula, studi oleh Gita dan Dewati (2022) mengungkapkan penggunaan e-modul problem-based learning (PBL) dalam meningkatkan keterampilan pemecahan masalah dan berpikir kritis siswa khususnya yang berkaitan dengan materi fisika.

Selain itu, adanya kemampuan berpikir kritis sangat penting dalam memahami prinsip-prinsip termodinamika seperti hukum kekekalan energi, proses *reversibel-ireversibel*, dan hubungan antara kerja, kalor, dan perubahan energi dalam karena materi ini menuntut analisis sistematis, penalaran sebab-akibat, serta kemampuan mengevaluasi asumsi dalam pemodelan fisika. Tanpa keterampilan tersebut, siswa cenderung menghafal persamaan rumus tanpa memahami makna fisis dan batasan penerapannya. Berdasarkan hasil wawancara awal dengan guru fisika di SMA PGRI Gelumbang diperoleh informasi bahwa materi termodinamika masih dianggap sulit oleh sebagian besar siswa karena banyak melibatkan konsep abstrak dan keterkaitan antarkonsep. Guru juga menyampaikan bahwa bahan ajar yang digunakan masih didominasi buku teks dan belum tersedia modul pembelajaran yang secara khusus mengintegrasikan model *Problem-Based Learning* untuk melatih kemampuan berpikir kritis siswa. Kondisi tersebut menyebabkan proses

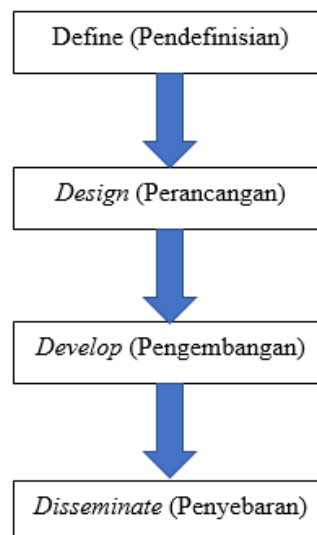
pembelajaran masih berpusat pada penyampaian materi, sedangkan kesempatan siswa untuk menganalisis dan memecahkan permasalahan kontekstual masih terbatas.

Oleh karena itu, pengembangan e-modul berbasis *Problem-Based Learning* pada materi termodinamika menjadi relevan sebagai upaya menyediakan bahan ajar yang mampu memfasilitasi siswa dalam melatih kemampuan berpikir kritis melalui penyajian permasalahan kontekstual dan aktivitas pembelajaran yang sistematis. E-modul ini diharapkan dapat menjadi jembatan antara konsep-konsep termodinamika yang bersifat abstrak dengan fenomena yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih interaktif, menantang, dan berpusat pada siswa. Melalui pengembangan e-modul yang telah divalidasi oleh para ahli dan diuji tingkat kepraktisannya, diharapkan tersedia bahan ajar yang layak digunakan sebagai pendukung pembelajaran fisika pada materi termodinamika.

## METODE PENELITIAN

### *Alur Penelitian*

Penelitian ini memanfaatkan metode Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development/R&D*) suatu pendekatan penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan suatu produk tertentu dan melakukan pengujian sistematis untuk mengevaluasi kelayakan atau keefektifan produk tersebut (Waruwu, 2024; Hidayat dkk., 2024). Sebagai acuan dalam prosedur pengembangan penelitian ini mengadopsi model 4D (Four-D Model) yang dikemukakan oleh Thiagarajan, Semmel, dan Semmel (1974) yang terdiri atas empat tahapan utama: *Define* (pendefinisian) *Design* (perancangan) *Develop* (pengembangan) dan *Disseminate* (diseminasi) (Gustina dkk., 2024).



**Gambar 1. Model Pengembangan 4D**  
(Rusdi dkk., 2022)

Namun karena fokus penelitian ini tidak pada pengujian efektivitas modul pembelajaran untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis secara empiris tetapi pada pengembangan dan validasi tahap awalnya, sehingga penelitian ini terbatas pada tahap *Develop*. Pada tahap ini dilakukan tiga kegiatan utama: (1) evaluasi diri (*self-evaluation*) oleh peneliti terhadap draf modul (2) validasi oleh ahli yang meliputi ahli materi (fisika) ahli desain pembelajaran dan ahli media pembelajaran menggunakan instrumen validasi berbasis skala penilaian serta (3) uji coba terbatas (*one-to-one*) yang melibatkan tiga siswa SMA untuk menilai aspek keterbacaan keterpahaman kejelasan instruksi dan kemenarikan modul dari perspektif pengguna (Akhsan dkk., 2023).

### *Sasaran Penelitian*

Responden dalam penelitian ini terdiri atas validator ahli media, ahli materi dan ahli desain yang berasal dari kalangan pendidik atau guru praktisi serta beberapa siswa sekolah menengah atas, yang bertugas melakukan validasi dan uji coba terhadap e-modul yang telah dikembangkan.

### Data Penelitian

Data yang diperoleh dalam penelitian ini terdiri atas data kuantitatif dan data kualitatif yang bersumber dari tiga validator ahli, yaitu ahli materi, ahli pembelajaran/pendidikan, dan ahli media/desain. Data kuantitatif berupa skor penilaian yang diberikan pada lembar validasi modul ajar termodinamika berbasis *Problem-Based Learning* (PBL), sedangkan data kualitatif berupa saran, masukan, dan komentar tertulis yang diisi oleh para validator pada bagian komentar lembar validasi untuk perbaikan modul.

### Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa lembar validasi ahli yang diisi oleh tiga jenis validator: ahli materi, ahli pembelajaran/pendidikan, dan ahli media/desain. Ketiganya menggunakan lembar penilaian yang sama, terdiri atas enam aspek: (1) kelayakan isi, (2) penyajian dan strategi pembelajaran, (3) kegrafisan dan desain, (4) pendekatan PBL (5) asesmen, serta (6) relevansi dengan karakteristik peserta didik. Setiap butir dinilai dengan skala 1–5, dari sangat tidak sesuai, hingga sangat sesuai.

### Teknik Analisis Data

Pengolahan data hasil validasi dari ahli materi, ahli pembelajaran/pendidikan, dan ahli media/desain dilakukan menggunakan skala *Likert*, yaitu metode penilaian yang mengukur sikap, pandangan, atau persepsi dengan meminta responden untuk menyatakan tingkat persetujuan atau ketidaksetujuan mereka terhadap serangkaian pernyataan, biasanya dalam bentuk rentang nilai (Adil dkk., 2023; Sugiyono, 2013). Rentang nilai yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 5 dengan bobot nilai masing-masing, seperti yang ditampilkan pada tabel berikut dengan rentang skor 1–5, yaitu:

**Tabel 1. Nilai Skala *Likert***

| Skala <i>Likert</i> | Nilai |
|---------------------|-------|
| Sangat Tidak Sesuai | 1     |
| Tidak Sesuai        | 2     |
| Cukup Sesuai        | 3     |

| Skala <i>Likert</i> | Nilai |
|---------------------|-------|
| Sesuai              | 4     |
| Sangat Sesuai       | 5     |

Pada Tabel 1 terlihat lima kategori skala *Likert* yang digunakan dalam penelitian, yaitu: Sangat Tidak Sesuai (skor 1), Tidak Sesuai (skor 2), Cukup Sesuai (skor 3), Sesuai (skor 4), dan Sangat Sesuai (skor 5). Untuk menghitung hasil penilaian, terlebih dahulu ditentukan skor maksimum dan skor minimum yang mungkin diperoleh. Skor maksimum dihitung dengan mengalikan skor tertinggi skala *Likert* (5) dengan jumlah responden, sedangkan skor minimum diperoleh dari perkalian skor terendah (1) dengan jumlah responden.

Selanjutnya, hasil penilaian validator dianalisis menggunakan indeks persentase dengan rumus:

$$\text{Indeks (\%)} = \left( \frac{\text{Total Skor Yang Diperoleh}}{\text{Skor Maksimum}} \right) \times 100 \%$$

Indeks persentase ini digunakan untuk menginterpretasikan tingkat kelayakan modul berdasarkan penilaian para ahli. Hasil persentase tersebut kemudian digunakan untuk menilai kevalidan modul pada setiap aspek penilaian. Klasifikasi kelayakan mengacu pada kriteria yang disajikan pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2. Kriteria Kevalidan**

| Kriteria Kevalidan | Tingkat Kevalidan |
|--------------------|-------------------|
| 85,01-100%         | Sangat Valid      |
| 70,01-85,00%       | Valid             |
| 50,01-70,00%       | Cukup Valid       |
| 0,00-50,00%        | Tidak Valid       |

Kesimpulan akhir validasi didasarkan pada rata-rata persentase seluruh aspek yang dinilai oleh para ahli (Utari dkk., 2023).

Selanjutnya analisis data kuesioner pada evaluasi satu-satu dan uji coba kelompok kecil untuk melihat kepraktisan

modul dengan analisis indeks persentase yaitu

$$P = \sum \frac{TSe}{TSh} \times 100\%$$

Dengan (P) sebagai persentase kepraktisan modul, (TSe) adalah jumlah skor respons seluruh siswa, dan (TSh) adalah jumlah skor maksimal yang dapat diperoleh dari seluruh respons siswa. Setelah nilai persentase dihitung, hasil tersebut dikategorikan ke dalam kriteria kepraktisan produk, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Kriteria Kepraktisan**

| Kriteria Kepraktisan  | Tingkat Kepraktisan  |
|-----------------------|----------------------|
| $80\% < P \leq 100\%$ | Sangat Praktis       |
| $60\% < P \leq 80\%$  | Praktis              |
| $40\% < P \leq 60\%$  | Kurang Praktis       |
| $20\% < P \leq 40\%$  | Tidak Praktis        |
| $0 < P \leq 20\%$     | Sangat Tidak Praktis |

(Nesri & Kristanto, 2020)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah produk berupa e-modul pembelajaran Fisika untuk SMA kelas XI berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) pada materi Termodinamika yang telah melalui proses validasi. E-modul ini dapat dimanfaatkan baik sebagai media pembelajaran mandiri maupun pendukung pembelajaran di kelas. Penelitian ini menggunakan model pengembangan 4D (*Four-D Model*) yang disederhanakan menjadi tiga tahap utama, yaitu *Define* (pendefinisian), *Design* (perancangan), dan *Develop* (pengembangan). Penyederhanaan tahapan dilakukan dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu, namun tidak mengurangi esensi dan kualitas dari proses penelitian dan pengembangan itu sendiri, sebagaimana dianjurkan dalam praktik pengembangan produk pendidikan (Utari dkk., 2023).

### 1. Tahap *Define*

Tahap ini dilakukan melalui studi lapangan dan studi pustaka. Studi lapangan dilakukan dengan wawancara terhadap guru Fisika di SMA PGRI Gelombang dan salah satu siswa sekolah menengah atas yang duduk di kelas XI. Hasil wawancara menunjukkan bahwa penggunaan e-modul dalam pembelajaran Fisika masih sangat terbatas dan guru cenderung mengandalkan media seperti PowerPoint. Selain itu, banyak siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep termodinamika terutama pada aspek abstrak seperti hubungan antara kalor, kerja, dan energi dalam, serta penerapan hukum-hukum termodinamika dalam konteks nyata kondisi yang sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya (Loverude dkk., 2023). Studi pustaka dilakukan untuk menganalisis capaian pembelajaran Fisika kelas XI terkait materi termodinamika serta mengkaji landasan teoretis tentang pendekatan *Problem-Based Learning*. karakteristik e-modul yang efektif, dan prinsip pengembangan media pembelajaran. Kajian ini bertujuan untuk mengumpulkan informasi yang relevan dan membangun dasar teoretis yang kuat dalam merancang e-modul yang valid, kontekstual, dan berpotensi meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

### 2. Tahap *Design*

Tahap Perancangan merupakan tahap penyusunan rancangan awal media pembelajaran yang akan dikembangkan menjadi produk akhir. Pada tahap ini dilakukan dua proses utama yaitu pemilihan jenis media dan penyusunan rancangan awal e-modul. Media pembelajaran dipilih berdasarkan kesesuaian dengan karakteristik materi Termodinamika untuk SMA kelas XI, yang bersifat abstrak dan memerlukan representasi visual serta konteks nyata untuk memfasilitasi pemahaman konseptual. Oleh karena itu, dikembangkan e-modul Fisika berbasis *Problem-Based Learning* (PBL) dalam format digital interaktif. Seluruh desain e-

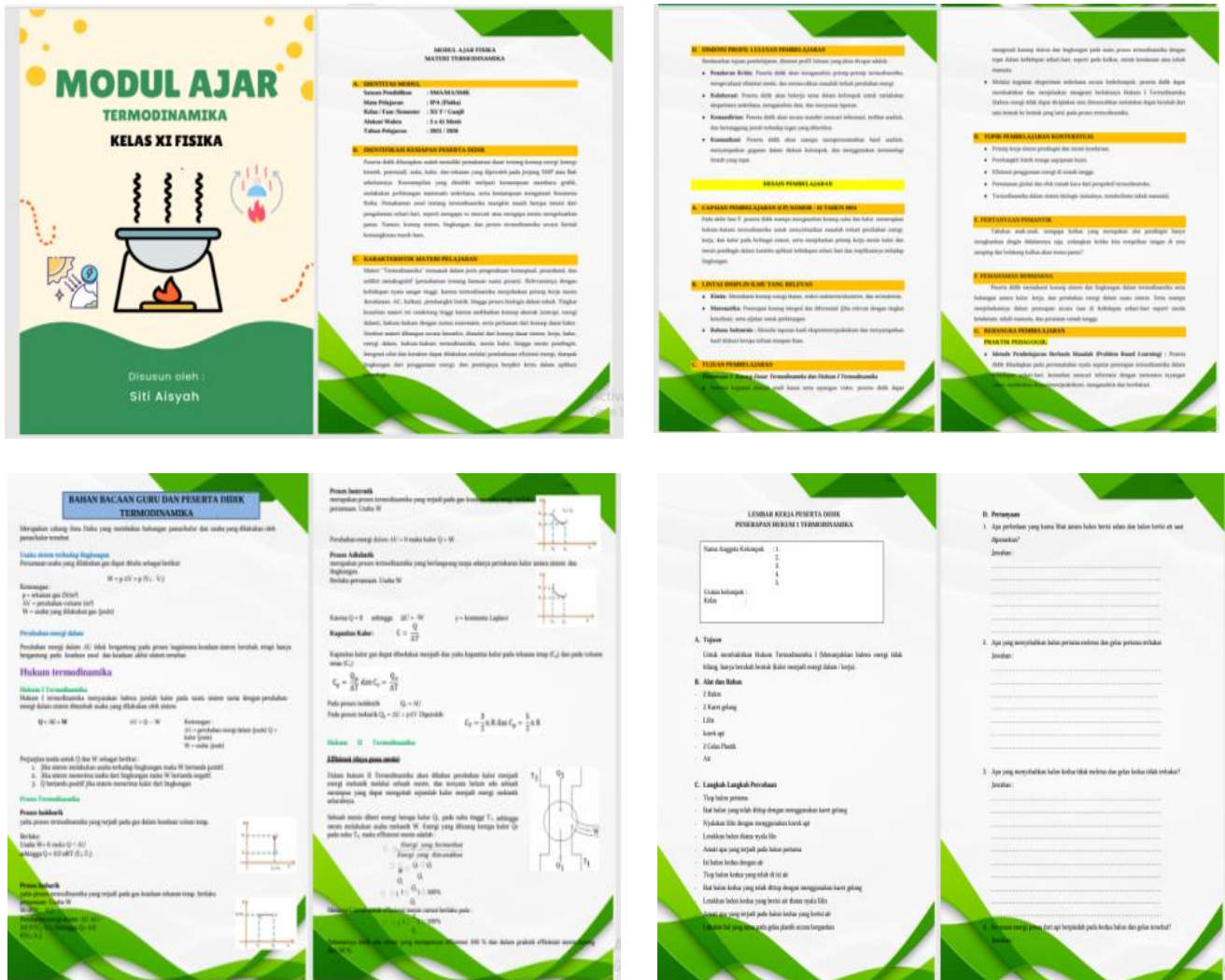
modul meliputi tata letak, latar belakang, ilustrasi, skema, hingga penyusunan konten dirancang menggunakan aplikasi *Canva*, yang memungkinkan pengembangan tampilan menarik, konsisten, dan responsif terhadap kebutuhan visual siswa. Melalui *Canva*, e-modul dikemas dalam bentuk digital yang menyerupai buku interaktif, dengan dukungan elemen visual seperti gambar, diagram, infografis, serta tautan ke video dan animasi pendukung yang relevan dengan fenomena termodinamika dalam kehidupan sehari-hari. Desain ini bertujuan tidak hanya meningkatkan estetika dan keterbacaan, tetapi juga memperkuat keterlibatan kognitif siswa melalui penyajian masalah kontekstual dan aktivitas eksploratif yang khas dalam pendekatan PBL.

Dalam penyajian isinya, E-modul disusun secara sistematis mulai dari identitas modul, capaian dan tujuan pembelajaran, kesiapan peserta didik, hingga penyajian masalah kontekstual yang dilanjutkan dengan pertanyaan pemantik sebagai stimulus berpikir kritis. Selanjutnya, siswa diarahkan mengikuti kegiatan pembelajaran berbasis *Problem-Based Learning* melalui penyajian materi, aktivitas pada Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), dan evaluasi pembelajaran. Struktur e-modul tersebut disusun secara berurutan untuk memudahkan siswa membangun pemahaman konsep termodinamika secara mandiri sekaligus melatih kemampuan berpikir kritis. Adapun struktur e-modul yang dikembangkan disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Komponen Isi E-Modul**

| Komponen E-Modul | Deskripsi                                                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sampul (Cover)   | Menampilkan judul modul, identitas penyusun, dan ilustrasi yang berkaitan dengan materi termodinamika. |
| Identitas Modul  | Berisi nama pelajaran, materi pokok, kelas/fase,                                                       |

|                                     |                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                     | alokasi waktu, dan informasi umum pembelajaran.                                                                                                    |
| Identifikasi Kesiapan Peserta Didik | Menjelaskan prasyarat pengetahuan yang harus dimiliki siswa sebelum mempelajari materi termodinamika.                                              |
| Karakteristik Materi Pelajaran      | Menguraikan karakteristik materi termodinamika yang akan dipelajari siswa.                                                                         |
| Capaian Pembelajaran (CP)           | Menjelaskan kompetensi yang harus dicapai sesuai Kurikulum Merdeka.                                                                                |
| Lintas Disiplin Ilmu yang Relevan   | Menunjukkan keterkaitan materi termodinamika dengan bidang ilmu lain dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.                                 |
| Tujuan Pembelajaran                 | Memuat tujuan pembelajaran yang ingin dicapai setelah siswa mempelajari e-modul.                                                                   |
| Topik Permasalahan Kontekstual      | Menyajikan permasalahan nyata sebagai pemicu pembelajaran sesuai sintaks <i>Problem-Based Learning</i> (PBL).                                      |
| Pertanyaan Pemantik                 | Berisi pertanyaan yang mendorong siswa berpikir kritis terhadap masalah yang diberikan.                                                            |
| Pemahaman Bermakna                  | Menjelaskan manfaat mempelajari materi serta keterkaitannya dengan kehidupan sehari-hari.                                                          |
| Kegiatan Pembelajaran Berbasis PBL  | Memuat tahapan pembelajaran berbasis <i>Problem-Based Learning</i> , mulai dari orientasi masalah, penyelidikan, diskusi, hingga penyajian solusi. |
| Materi Termodinamika                | Berisi konsep-konsep termodinamika yang dilengkapi gambar, diagram, ilustrasi, serta contoh penerapan.                                             |
| Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD)   | Memuat kegiatan praktikum sederhana dan soal analisis yang melatih kemampuan berpikir kritis siswa.                                                |
| Evaluasi                            | Berisi soal latihan untuk mengukur pemahaman siswa terhadap materi yang telah dipelajari.                                                          |
| Daftar Pustaka                      | Memuat referensi yang digunakan dalam penyusunan e-modul.                                                                                          |



Gambar 2. Desain E-Modul Termodinamika Berbasis Problem-Based Learning

### 3. Tahap Develop

#### 3.1 Hasil Validasi oleh Ahli

Kevalidan E-modul pembelajaran dapat ditentukan melalui proses validasi yang dilakukan oleh validator. Dalam penelitian ini, validasi dilakukan oleh tiga validator, terdiri dari satu orang validator ahli dari Magister Pendidikan Fisika Universitas Sriwijaya serta dua orang guru praktisi yaitu dari SMP Negeri 4 Mesuji Makmur dan SMA Negeri 1 Palembang. Suatu produk e-modul dinyatakan valid dan layak digunakan apabila telah memenuhi kriteria kevalidan yang ditetapkan berdasarkan penilaian validator. Hasil Validasi ahli ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Validasi Oleh Para Ahli

| Aspek Penilaian                               | Skor Rata-Rata | Kategori     |
|-----------------------------------------------|----------------|--------------|
| Kelayakan Isi                                 | 89,33%         | Sangat Valid |
| Penyajian dan Strategi Pembelajaran           | 93,33%         | Sangat Valid |
| Kegrafisan dan Desain Pendekatan Pembelajaran | 91,11%         | Sangat Valid |
| Asesmen                                       | 97,77%         | Sangat Valid |
| Relevansi dengan Karakteristik Peserta Didik  | 91,11%         | Sangat Valid |

Hasil validasi menunjukkan bahwa rata-rata persentase kelayakan dari ketiga validator pada seluruh aspek berada dalam kategori “Sangat Valid”. Secara rinci, persentase rata-rata untuk masing-masing aspek adalah sebagai berikut: Kelayakan Isi (89,33%), Penyajian dan Strategi Pembelajaran (93,33%), Kegrafisan dan Desain (91,11%), Pendekatan Pembelajaran (97,77%), Asesmen (91,11%), dan Relevansi dengan Karakteristik Peserta Didik (91,11%). Berdasarkan seluruh aspek tersebut, diperoleh rata-rata keseluruhan kevalidan sebesar 92,29%, yang termasuk dalam kategori Sangat Valid. Dengan demikian, berdasarkan hasil validasi oleh ketiga ahli, e-modul ini dinyatakan valid dan layak digunakan sebagai media pembelajaran di SMA, baik untuk pembelajaran mandiri maupun sebagai pendukung pembelajaran berbasis PBL di kelas.

### 3.2 Respons Siswa dalam Uji Coba Terbatas

Uji coba terbatas dilakukan sebagai bagian dari tahap *Develop* dalam model pengembangan 4D untuk memperoleh umpan balik langsung dari pengguna akhir, yaitu dilakukan kepada tiga siswa Kelas XI SMA PGRI Gelombang, Sumatera Selatan. Tahap ini bertujuan menguji empat kriteria dengan 15 pertanyaan menggunakan angket. Melalui uji coba *one-to-one* (dan/atau *small group*), peneliti dapat mengidentifikasi hambatan awal yang mungkin tidak terdeteksi oleh validator ahli, seperti ambiguitas instruksi, kejenuhan visual, atau kompleksitas bahasa. Respons siswa dalam tahap ini menjadi indikator awal kepraktisan e-modul sebelum diuji coba dalam skala lebih luas. Berikut disajikan analisis terhadap tanggapan siswa selama uji coba terbatas terhadap e-modul Fisika berbasis *Problem-Based Learning* pada materi Termodinamika.

**Tabel 6. Hasil Uji Coba Kepraktisan Modul**

| Kriteria                                                   | Skor Rata-Rata | Kategori       |
|------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| Kemudahan Memahami Isi Modul                               | 80%            | Praktis        |
| Kejelasan Instruksi dan Petunjuk Bahasa dan Tampilan Modul | 81,33%         | Sangat Praktis |
| Relevansi dan Daya Tarik Modul                             | 82%            | Sangat Praktis |

Berdasarkan hasil angket respons siswa pada uji coba terbatas *one-to-one* dan/atau *small group*, e-modul Fisika berbasis *Problem-Based Learning* pada materi Termodinamika memperoleh penilaian yang sangat positif dari segi kepraktisan. Secara rinci, aspek Kemudahan Memahami Isi Modul memperoleh rata-rata skor sebesar 80%, Kejelasan Instruksi dan Petunjuk sebesar 81,33%, Bahasa dan Tampilan Modul sebesar 82%, serta Relevansi dan Daya Tarik Modul juga sebesar 82%. Seluruh aspek tersebut berada dalam kategori “Praktis dan Sangat Praktis”, dengan rata-rata keseluruhan yaitu yang menunjukkan bahwa modul mudah dipahami, instruksinya jelas, bahasa dan tampilannya sesuai dengan karakteristik siswa, serta mampu menarik minat belajar melalui konteks

yang relevan. Temuan ini mengindikasikan bahwa e-modul telah memenuhi kriteria kepraktisan dari perspektif pengguna akhir, sehingga layak digunakan dalam pembelajaran Fisika di SMA.

### 3.3 Rekomendasi Berdasarkan Proses Pengembangan

Berdasarkan hasil validasi oleh ahli materi, ahli pembelajaran, dan ahli media serta respons positif dari siswa dalam uji coba terbatas, e-modul Fisika berbasis *Problem-Based Learning* pada materi Termodinamika telah memenuhi kriteria kevalidan dan kepraktisan sehingga layak digunakan dalam pembelajaran. Modul ini siap diuji coba lebih lanjut dalam skala kelas untuk melihat dampaknya terhadap keterampilan berpikir kritis siswa

melalui desain penelitian kuasi-eksperimen. Pengembangan versi digital interaktif berbasis platform pembelajaran juga dapat dilakukan untuk mendukung pembelajaran *hybrid*, sementara keterlibatan guru dari berbagai konteks sekolah dalam uji coba lanjutan dapat memperkuat keberlakuan dan adaptabilitas modul. Dengan struktur yang kontekstual, aktivitas eksperimen yang sederhana, serta penyajian yang menarik, modul ini berpotensi menjadi alternatif bahan ajar yang efektif bagi guru Fisika dalam menghadirkan pembelajaran yang aktif, kolaboratif, dan berorientasi pada pemahaman konseptual mendalam terhadap materi Termodinamika yang selama ini dianggap abstrak dan sulit.

## SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan e-modul Fisika berbasis *Problem Based Learning* pada materi Termodinamika untuk siswa SMA kelas XI yang telah memenuhi kriteria kevalidan dan kepraktisan. Melalui pendekatan pengembangan model 4D (*Define, Design, Develop*), e-modul dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik materi yang abstrak dan kebutuhan siswa dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Hasil validasi oleh tiga validator terdiri atas ahli materi, ahli pembelajaran, dan desain menunjukkan bahwa seluruh aspek modul, meliputi kelayakan isi, strategi pembelajaran, kegrafisan, pendekatan PBL, asesmen, dan relevansi dengan karakteristik peserta didik, berada pada kategori "Sangat Valid". Selain itu, uji coba terbatas terhadap siswa menunjukkan bahwa e-modul memiliki tingkat kepraktisan yang tinggi, dengan rata-rata persentase di atas 80% "Sangat Praktis" pada aspek kemudahan memahami isi, kejelasan instruksi, bahasa dan tampilan, serta relevansi dan daya tarik. Dengan demikian, e-modul ini layak digunakan sebagai media pembelajaran, baik secara

mandiri maupun dalam pembelajaran di kelas, dan siap untuk diuji coba lebih lanjut guna mengukur efektivitasnya dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.

## REFERENSI

- Afika, F., Jannah, N., & Majid, A. (2024). Development of Physics Learning Modules Integrated with Wonosobo Local Wisdom on Temperature and Heat Materials to Overcome Student Misconceptions. *Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 9(2), 103–109.
- Adil, A., Liana, Y., Mayasari, R., Lamonge, A. S., Ristiyana, R., Saputri, F. R., & Wijoyo, E. B. (2023). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif: Teori dan praktik. *Jakarta: Get Press indonesia*.
- Akhsan, H., Putra, G. S., Wiyono, K., Romadoni, M., & Furqon, M. (2023). Development of A STEM-Based Introduction to Quantum Physics Module on the Sub-Subject of Potential Variations in the Physics Education Study Program. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(9), 7408–7412. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.3577>
- Aprilia, M., Tri Gemilang, R., & Nisa'ul Wahidah, R. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran E-Modul Fisika Dengan Menggunakan 3D Pageflip Pro Untuk Pokok Bahasan Termodinamika. *Schrodinger: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Wapendika Fisika*, 3(1), 18–25.
- Azhari, M. A., Sriyanti, I., & Marlina, L. (2025). Analisis Kebutuhan Pengembangan E-Modul Berbasis STEM dengan Memanfaatkan Membran Nanofiber pada Materi Pencemaran Lingkungan. *DIFFRACTION: Journal for Physics Education*

- and Applied Physics*, 7(1), 31-38.
- Gita, D. R., & Dewati, M. (2022, August). Pengembangan E-Modul Fisika Berbasis Problem Based Learning Untuk Meningkatkan Keterampilan Pemecahan Masalah Siswa. In *SINASIS (Seminar Nasional Sains)* (Vol. 3, No. 1).
- Goovaerts, L., De Cock, M., Struyven, K., & Dehaene, W. (2019). Developing a module to teach thermodynamics in an integrated way to 16 year old pupils. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3964>
- Gunartha, I. W. (2024). *Pengembangan Penilaian Berorientasi Hots: Upaya Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Di Era Global Abad Ke-21*. 25(1). <https://doi.org/10.59672/widyadar.i.v25i1.3660>
- Gustina, Z., Husnayayin, A., Eka, D., & Dewi, C. (2024). *Karakteristik, Langkah-Langkah, Research And Development, Pendidikan*. 09, 490–501.
- Hidayat, W., Cahyono, N., Nurcholis, M. T., & Wardhana, R. (2024). *Perancangan Media Interaktif Pengenalan Fauna Untuk Suku Anak Dalam Di Taman Nasional Bukit Duabelas Menggunakan Metode Research And Development (R&D)*. *Jati (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(5), 10958-10964. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i5.11166>
- Indrapangastuti, D. (2023). *Berpikir kritis melalui problem based learning (teori dan implementasi)*. CV Pajang Putra Wijaya.
- Loverude, M. E. (2023). Student understanding of thermal physics. *The International Handbook of Physics Education Research: Learning Physics*, 3-1. <https://doi.org/10.1063/9780735425477>
- Nesri, F. D. P., & Kristanto, Y. D. (2020). Pengembangan modul ajar berbantuan teknologi untuk mengembangkan kecakapan abad 21 siswa. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 9(3), 480-492. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v9i3.2925>
- Nurhafizah, F., Oktavianty, E., & Hidayatullah, M. M. S. (2025). Analisis Kebutuhan Pengembangan LKPD Berbantuan Coding-Robotic Berbasis STEM pada Materi Momentum dan Impuls. *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 7(2), 94-106.
- Puspitasari, R. D. (2024). *Integrasi Literasi Digital Dalam Pembelajaran Ipa*. 03(11), 91–99.
- Putri, N. A. (2025). *Efektivitas Model Problem Based Learning dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa*. 3(4), 592–602.
- Rusdi, M. I., Prasti, D., & Rasyid, R. (2022). *Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif untuk Meningkatkan Pemahaman IPA Kelas VII SMPN 3 Bone-Bone*. 2(3), 168–175.
- Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D. Bandung: Alfabeta, 2013.
- Syahputri, S. M., Kistiono, K., & Akhsan, H. (2025). Perbandingan Antara Metode Demonstrasi Dan Eksperimen Terhadap Hasil Belajar Fisika Siswa Sma. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(1), 130–139. <https://doi.org/10.37478/optika.v9i1.5721>
- Thiagarajan, S. Semmel, D.S. Semmel, M. (1974). *Instructional Development for Training Teachers of Expectional Children. A Sourse Book*. Blomington: Indiana.

- Utari, W. M., Gunada, I. W., Makhrus, M., & Kosim. (2023). *Pengembangan E-Modul Pembelajaran Fisika Model Problem Based Learning Berbasis Flipbook Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kreatif Peserta Didik*. 8(November), 2724–2734.
- Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9, 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>
- Yolanda, Y. (2021). Pengembangan Modul Ajar Fisika Termodinamika Berbasis Kontekstual. *Jurnal Jendela Pendidikan Jurnal*, 01, 80–95. <https://doi.org/10.57008/jjp.v1i03.12>