

Pengembangan e-LKPD Model *Problem Based Learning* pada Materi Stoikiometri Kelas X Fase E SMK SMTI Padang

Development of e-LKPD Problem Based Learning Model on Stoichiometry Material Class X Phase E SMK SMTI Padang

Hardiansyah¹, Syamsi Aini^{1*}

¹ Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Padang Utara, Sumatera Barat, Indonesia. 25171.

* syamsiaini@fmipa.unp.ac.id

Received on:
22th May 2025

Revised till:
31th July 2025

Accepted on:
31th July 2025

**Publisher version
published on:**
31th July 2025

ABSTRACT

Vocational high schools (SMKs) continue to face challenges in students' conceptual understanding of stoichiometry, largely due to the limited availability of contextual and industry-oriented learning media. This study aims to develop and evaluate the validity and practicality of an electronic student worksheet (e-LKPD) based on Problem-Based Learning (PBL) for stoichiometry material in Grade X, Phase E at SMK SMTI Padang. The research employed the 4-D development model, limited to the Develop stage. Data were collected through interviews and questionnaires, utilizing open-ended interview sheets, observation forms, a 31-item validity questionnaire, and a 12-item practicality questionnaire. Content validation was conducted by six experts, consisting of university lecturers and chemistry teachers, while the practicality assessment involved three teachers and 28 students. Aiken's *V* analysis yielded values ranging from 0.84 to 0.86, indicating high validity, while practicality scores reached 90% (teachers) and 91% (students), categorized as very practical. The e-LKPD is considered feasible to support students' critical thinking skills and contextual understanding of stoichiometry. Further research is recommended to explore broader implementation and the development of interactive digital features.

KEYWORDS

e-Worksheet, Problem based learning, Stoichiometry, Validity, Practicality.

ABSTRAK

Pemahaman konsep stoikiometri di SMK masih rendah akibat keterbatasan media pembelajaran yang kontekstual dan berorientasi industri. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji validitas serta kepraktisan e-LKPD berbasis *Problem Based Learning* (PBL) pada materi stoikiometri kelas X Fase E SMK SMTI Padang. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* model 4-D, dibatasi hingga tahap *Develop*. Teknik pengumpulan data meliputi wawancara dan angket, dengan instrumen berupa lembar wawancara terbuka, angket observasi, angket validitas (31 butir), dan angket kepraktisan (12 butir). Validasi dilakukan oleh enam ahli, terdiri atas dosen dan guru kimia, sedangkan uji kepraktisan melibatkan tiga guru dan 28 peserta didik. Hasil analisis Aiken's *V* menunjukkan nilai 0,84–0,86 (kategori valid), dan skor kepraktisan mencapai 90% (guru) dan 91% (peserta didik), termasuk kategori sangat praktis. e-LKPD dinyatakan layak untuk mendukung keterampilan berpikir kritis dan pemahaman stoikiometri secara kontekstual. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk uji implementasi lebih luas dan pengembangan fitur digital interaktif.

KATA KUNCI

e-LKPD, Problem based learning, Stoikiometri, Validitas, Kepraktisan.

<https://doi.org/10.24036/ekj.v7.i2.a597>

Hardiansyah¹ and Syamsi Aini^{1*}



1. PENDAHULUAN

Pembelajaran kimia di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki karakteristik yang khas yang memadukan pemahaman teoritis dan keterampilan praktis melalui pendekatan ilmiah. Proses pembelajaran tidak hanya menekankan penguasaan konsep kimia sebagai produk, tetapi juga menekankan pada metode ilmiah sebagai proses yang melibatkan inkuiri terbuka dan pendekatan induktif. Pendekatan ini bertujuan untuk membentuk peserta didik yang mampu berpikir kritis, kreatif, serta memiliki keterampilan komunikasi saintifik yang relevan dalam pendidikan lanjutan maupun dunia industri^[1]. Materi yang disajikan secara kontekstual, menarik, dan mendorong kreativitas sangat diperlukan untuk membangun pola pikir ilmiah serta meningkatkan minat dan motivasi belajar peserta didik^[2]. Untuk mendukung capaian tersebut, setiap materi pembelajaran perlu dirancang agar sesuai karakteristik peserta didik dan kompleksitas konsep yang diajarkan.

Salah satu topik penting namun menantang dalam kurikulum kimia adalah stoikiometri. Materi ini mencakup perhitungan kuantitatif reaktan dan produk berdasarkan persamaan kimia, konversi massa ke mol, serta pemahaman relasi kimia secara sistematis.

Di SMK SMTI Padang, materi stoikiometri diajarkan dalam mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Kimia Industri 6 (DDTKI 6) di SMK SMTI Padang, yang menjadi fondasi penting dalam membekali peserta didik menghadapi aktivitas industri seperti optimasi bahan baku, efisiensi reaksi, dan pengelolaan limbah^[3]. Berdasarkan studi pendahuluan penulis terhadap 48 peserta didik kelas X Teknik Kimia Industri Padang, sebanyak 68,8% siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep stoikiometri, dan 77,1% mengalami kendala dalam perhitungan. Hal ini menunjukkan bahwa stoikiometri bukan hanya sulit secara konseptual, tetapi juga menantang secara prosedural karena melibatkan integrasi berbagai konsep dasar kimia.

Temuan tersebut mengindikasikan bahwa kesulitan dalam materi stoikiometri tidak hanya terbatas pada aspek konsep dan prosedur, tetapi juga berkaitan dengan tingkat kompleksitas dan sifat abstrak materi itu sendiri. Stoikiometri merupakan salah satu topik dalam kimia yang menuntut pemahaman tinggi, terutama dalam hal konsep mol dan perhitungan kuantitatif reaksi kimia. Karakter abstrak dari konsep-konsep ini memunculkan tantangan kognitif yang cukup besar bagi peserta didik. Banyak di antara mereka kesulitan dalam membangun pemahaman yang logis dan sistematis, terutama ketika diminta untuk mengaitkan berbagai konsep dasar kimia secara terpadu^[4].

Stoikiometri kerap menjadi tantangan bagi peserta didik SMK karena menuntut pemahaman simultan pada

tiga level representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik. Materi ini juga memerlukan keterampilan matematis yang kuat untuk memahami dan menyelesaikan perhitungan kimia secara tepat. Penelitian oleh Fitriani *et al.* (2022) menunjukkan bahwa banyak siswa mengalami kesulitan dalam mengaitkan representasi submikroskopik dengan fenomena makroskopik serta dalam menerapkan algoritma yang tepat untuk menyelesaikan soal stoikiometri^[5].

Metode pembelajaran konvensional yang dominan berupa ceramah dan latihan mekanis, tanpa eksplorasi kontekstual yang mendalam menjadi salah satu kendala dalam pembelajaran kimia di SMK. Observasi kelas menunjukkan bahwa sekitar 60,4% aktivitas pembelajaran masih bersifat *teacher centered*. sehingga keterlibatan aktif peserta didik dalam memecahkan masalah nyata sangat minim. Yulistiani *et al.* (2024) menemukan bahwa siswa SMK pada program keahlian analisis kimia kesulitan mentransformasikan data kuantitatif ke dalam prosedur penyelesaian masalah, serta belum mampu mengaitkan hasil perhitungan dengan proses dan kebutuhan industri kimia secara langsung^[6]. Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran yang terlalu berpusat pada guru menghambat kemampuan peserta didik dalam berpikir analitis dan aplikatif yang dibutuhkan di dunia kerja

Permasalahan tersebut menuntut adanya pembelajaran baru, salah satunya adalah pembelajaran berbasis konstruktivisme dan pemecahan masalah autentik. *Problem Based Learning* (PBL) merupakan salah satu model pembelajaran yang terbukti efektif dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis, kolaboratif, dan aplikatif melalui penyelesaian masalah kontekstual yang menuntut eksplorasi mandiri maupun kelompok^{[7][8]}. Dalam PBL, peran guru berubah menjadi *learning facilitator* yang membimbing peserta didik dalam mengidentifikasi masalah, merumuskan hipotesis, menganalisis informasi, dan mempresentasikan solusi. Rudibyani (2019) melaporkan bahwa penerapan model *Problem Based Learning* (PBL) pada topik stoikiometri mampu meningkatkan kemampuan berpikir kreatif peserta didik secara signifikan. Peningkatan ini terjadi karena peserta didik terdorong untuk mengkaji permasalahan secara mendalam dan mengembangkan solusi berdasarkan pemahaman konseptual yang kuat. Temuan ini menunjukkan bahwa implementasi PBL tidak hanya meningkatkan keterlibatan aktif dalam proses pembelajaran, tetapi juga memperkuat internalisasi konsep dan kemampuan transfer pengetahuan ke dalam konteks aplikatif, termasuk dalam ranah kimia industri^[9]. Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Habibi, Sunardi, dan Sudiyanto (2022) yang mengidentifikasi peluang pemanfaatan e-modul berbasis PBL untuk mendukung pembelajaran di SMK. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa e-modul dengan pendekatan PBL

tidak hanya dinilai sangat layak oleh ahli, tetapi juga mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kolaboratif, serta literasi digital peserta didik. Dengan demikian, pengembangan media pembelajaran berbasis PBL—baik dalam bentuk tatap muka maupun digital—memiliki potensi yang besar dalam membangun kompetensi abad ke-21 dan memperkuat pemahaman konsep kimia secara kontekstual di lingkungan pendidikan vokasi^[10].

Konsistensi efektivitas pendekatan PBL dalam pengembangan media pembelajaran juga tampak pada beberapa studi lain yang menggabungkan model ini ke dalam bentuk LKPD dan e-LKPD. Sebagai kelanjutan dari hasil yang dilaporkan Habibi, Sunardi, dan Sudiyanto (2022), berbagai penelitian serupa menunjukkan bahwa integrasi PBL dalam bahan ajar berbasis lembar kerja mampu meningkatkan pemahaman konseptual, berpikir kritis, dan kreativitas peserta didik dalam pembelajaran kimia. Nurhayati dan Kurniawati (2024) menemukan bahwa LKPD berbasis PBL untuk materi asam basa dengan dukungan simulasi PhET mampu meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan keterlibatan aktif peserta didik selama proses pembelajaran kimia^[11]. Putri dan Arianingrum (2024) juga menemukan bahwa penggunaan e-LKPD berbasis PBL pada topik kesetimbangan kimia memperkuat penguasaan konsep dan keterampilan berpikir tingkat tinggi peserta didik^[12]. Selanjutnya, melalui pendekatan meta analisis, Handayani dan Koeswanti (2021) melaporkan adanya peningkatan rata-rata sebesar 11,28% dalam kemampuan berpikir kreatif peserta didik melalui penerapan PBL pada berbagai topik kimia^[13]. Penelitian Wahyuni (2025) turut menegaskan hal ini dengan merancang e-LKPD berbasis PBL yang mengintegrasikan *platform digital wizer.me* pada materi laju reaksi di SMA. Produk ini tidak hanya mendorong interaksi digital yang intensif, tetapi juga mendukung kontekstualisasi masalah kimia secara lebih nyata, sehingga berdampak positif terhadap partisipasi dan pemahaman siswa^[14]. Implikasi dari beragam studi tersebut menunjukkan bahwa integrasi PBL dalam pengembangan LKPD/e-LKPD mampu memperkuat dimensi konseptual, keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan keterlibatan belajar dalam pembelajaran kimia.

Cahyaningsih dan Ghufroon (2016) menegaskan bahwa PBL efektif dalam menumbuhkan karakter kreatif dan berpikir kritis dalam pembelajaran matematika, namun belum menyentuh aspek aplikatif dunia kerja^[15]. Lebih lanjut, Yupeni, Susilawati, dan Futra (2025) mengembangkan LKPD berbasis PBL pada pelajaran Kimia materi laju reaksi dan berhasil meningkatkan kemampuan pemecahan masalah serta kolaboratif siswa, tetapi juga belum diarahkan pada penyelesaian persoalan nyata berbasis industri^[16]. Hal serupa terlihat pada penelitian Winarti (2024) mengembangkan e-LKPD

berbasis PBL pada materi laju reaksi di SMA kelas XI serta Nurmasita dan Enawati (2023) yang merancang e-LKPD PBL untuk topik Redoks X SMA tanpa mempertimbangkan keterkaitannya dengan dunia industri^{[17][18]}. Ayirahma dan Muchlis (2023) juga mengembangkan e-LKPD PBL pada materi asam-basa dengan capaian yang baik dalam aspek berpikir kritis, namun belum terhubung dengan praktik dunia kerja^[19]. Sebagai pembanding, Agung, Muktiningsih, & Erwin (2020) mulai merancang e-modul elektrokimia kontekstual untuk SMK Teknik Otomotif dengan menggabungkan isu lingkungan dan praktik industri^[20].

Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan efektivitas model PBL dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keterlibatan belajar. Namun, pengembangan e-LKPD berbasis PBL yang secara eksplisit mengintegrasikan konteks industri dalam pembelajaran kimia, khususnya di SMK, masih terbatas. Menjawab kesenjangan ini, penelitian ini bertujuan mengembangkan e-LKPD kimia berbasis PBL pada materi stoikiometri yang tidak hanya membangun pemahaman konseptual dan keterampilan kuantitatif, tetapi juga relevan dengan kebutuhan industri. Materi stoikiometri menuntut pendekatan yang menggabungkan representasi multilevel, keterampilan prosedural, dan aplikasi nyata seperti optimasi bahan baku dan pengelolaan limbah. Oleh karena itu, e-LKPD dirancang dengan mengintegrasikan studi kasus industri lokal, simulasi digital interaktif, dan aktivitas berbasis masalah yang kontekstual. Penelitian ini secara khusus bertujuan mengembangkan dan menguji validitas serta kepraktisan e-LKPD berbasis PBL untuk peserta didik kelas X Fase E SMK SMTI Padang sebagai media pembelajaran yang mendukung pembelajaran kimia berbasis industri.

2. METODE

Penelitian ini merupakan *Research and Development (R&D)* dengan model 4-D yang dikembangkan oleh Thiagarajan terdiri dari *Define, Design, Develop, dan Disseminate* (4D)^[21]. Model ini dipilih karena mampu menghasilkan bahan ajar yang aplikatif di kelas. Fokus penelitian dibatasi sampai tahap *Develop*, yakni pengembangan produk sebelum implementasi secara luas. Produk yang dikembangkan berupa e-LKPD stoikiometri berbasis *Problem Based Learning* (PBL) untuk peserta didik kelas X Fase E SMK SMTI Padang semester ganjil.

Subjek penelitian meliputi tiga dosen Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang, tiga guru mata pelajaran Dasar-dasar Teknik Kimia Industri 6 (DDTKI 6) SMK SMTI Padang, dan 28 peserta didik kelas X-4 Teknik Kimia Industri (TKI) Fase E. Objek penelitian adalah e-LKPD PBL Stoikiometri yang dikembangkan mengikuti tahapan model 4-D.

Tahap Define

Tahapan awal bertujuan mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran dan materi esensial sebagai dasar pengembangan. Proses ini melibatkan lima langkah: (1) *Front-end analysis* dilakukan melalui wawancara dengan tiga guru DDTKI 6 dan kuesioner *Google Form* kepada 48 peserta didik kelas X-1 dan X-2 TKI untuk mengidentifikasi kendala serta kebutuhan e-LKPD; (2) *Learner analysis* untuk menggali karakteristik, fasilitas belajar, dan minat peserta didik terhadap e-LKPD; (3) *Task analysis* untuk menentukan cakupan materi stoikiometri, meliputi massa atom relatif, mol, rumus kimia, dan konsentrasi larutan; (4) *Concept analysis* dengan menyusun konsep secara sistematis dalam bentuk peta konsep; dan (5) *Specifying instructional objectives*, yaitu perumusan tujuan pembelajaran yang selaras dengan kurikulum dan kebutuhan peserta didik SMK Fase E.

Tahap Design

Hasil dari tahap *Design* menjadi dasar dalam merancang struktur dan konten e-LKPD. Rancangan meliputi: (1) penentuan kompetensi dasar, tujuan pembelajaran (TP), dan aktivitas pembelajaran (ATP); (2) perancangan kerangka awal e-LKPD; (3) integrasi model PBL ke dalam struktur LKPD; dan (4) pengembangan elemen interaktif seperti gambar, video, serta pertanyaan pendukung untuk memfasilitasi pemahaman konsep stoikiometri secara kontekstual.

Tahap Develop

Tahap ini merealisasikan desain konseptual ke dalam produk e-LKPD operasional. Pengembangan melibatkan validasi oleh ahli dan uji praktikalitas oleh pengguna. Metode analisis mencakup gabungan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Data awal disajikan secara deskriptif, sementara hasil uji validitas dan praktikalitas dianalisis secara kuantitas.

Uji Validitas e-LKPD PBL Stoikiometri

Validitas e-LKPD dianalisis menggunakan rumus Aiken's V, berdasarkan penilaian enam validator yang terdiri dari tiga dosen Kimia UNP dan tiga guru DDTKI 6 SMK SMTI Padang. Angket validasi mencakup empat aspek: isi, konstruk, bahasa, dan kegrafisan. Penilaian dihitung dengan rumus berikut^[22]:

$$V = \frac{\sum s}{[n(c-1)]}$$

$$s = r - l_0$$

Keterangan:

- l_0 = angka penilaian terendah
- c = angka penilaian tertinggi
- r = angka yang diberikan oleh penilai
- n = jumlah penilai
- i = bilangan bulat dari 1, 2, 3, sampai ke- n

Tabel 1. Kategori valid koefisien Aiken's V^[22]

Jumlah penilai(n)	Jumlah kategori rating (V=5)	Jumlah kategori rating (p=5)
6	0,88	0,005
6	0,79	0,029

Pada penelitian ini digunakan 6 orang validator dengan skala penilaian 5 poin, sehingga nilai batas minimal Aiken's V yang digunakan untuk dinyatakan valid pada tingkat kesalahan 5% adalah sekitar 0,79^{[22][23]}. Nilai batas kritis ini diperoleh berdasarkan tabel distribusi Aiken's V yang telah dikembangkan dalam literatur, yang menunjukkan bahwa semakin sedikit jumlah penilai, maka nilai V yang disyaratkan untuk mencapai signifikansi harus lebih tinggi. Dengan demikian, setiap item instrumen yang memiliki nilai Aiken's V $\geq 0,79$ dianggap memiliki tingkat kesepakatan antar validator yang signifikan secara statistik dan memenuhi kriteria validitas bahan^[24]. Penggunaan batas ini memastikan bahwa penilaian terhadap relevansi butir instrumen bukan terjadi secara kebetulan, melainkan mencerminkan kesepakatan ahli yang valid.

Analisis validitas isi dalam penelitian ini dilakukan secara terpisah untuk setiap Tujuan Pembelajaran (TP) agar dapat memerinci kualitas dan kesesuaian konten pada tiap bagian e-LKPD. Pemecahan per-TP bertujuan untuk mengidentifikasi butir yang mungkin memerlukan revisi secara lebih spesifik, sehingga pengembangan produk menjadi lebih terarah dan akurat^[25].

Uji Praktikalitas e-LKPD PBL Stoikiometri

Evaluasi praktikalitas dilakukan untuk menilai kemudahan penggunaan media. Angket disebarakan kepada tiga guru DDTKI 6 dan 28 peserta didik kelas X-4 TKI. Prosedur dilakukan dalam dua tahap. Pertama, guru menerima tautan media dan panduan, lalu mengisi angket setelah mencoba e-LKPD dan memberikan umpan balik. Kedua, peserta didik mencoba e-LKPD, mengerjakan soal, serta mengisi angket disertai tanggapan terbuka. Nilai praktikalitas dihitung menggunakan rumus^[26]:

$$NP = \frac{R}{SM} \times 100\%$$

Keterangan:

- NP = nilai predikat yang dicari atau diharapkan
- R = skor yang diperoleh
- SM = skor maksimum ideal

Tabel 2. Penilaian praktikalitas^[26]

Persentase	Predikat
86%-100%	Sangat praktis
76%-85%	Praktis
60%-75%	Cukup praktis
55%-59%	Kurang praktis
≤ 54%	Tidak praktis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Define

Tahap *Define* merupakan fase awal yang penting dalam pengembangan perangkat pembelajaran, yang bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan belajar peserta didik serta menentukan ruang lingkup dan arah pengembangan produk. Analisis pada tahap ini dilakukan secara menyeluruh melalui empat sub analisis berikut:

3.1.1 Analisis Ujung Depan (*Front-end Analysis*)

Analisis *front-end* menunjukkan bahwa pembelajaran kimia di SMK SMTI Padang, khususnya pada materi stoikiometri, belum didukung oleh Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang memadai. Proses pembelajaran masih bergantung pada buku cetak dan metode konvensional yang bersifat pasif dan kurang mendukung interaktivitas. Hal ini menjadi hambatan signifikan, mengingat stoikiometri merupakan materi yang kompleks dan memerlukan pemahaman mendalam terhadap konsep mol, massa, volume, hingga jumlah partikel, yang idealnya didukung oleh media yang memfasilitasi visualisasi dan eksplorasi mandiri.

Kondisi tersebut mencerminkan adanya kesenjangan antara kebutuhan pembelajaran yang ideal dengan sarana yang tersedia. Oleh karena itu, dibutuhkan media pembelajaran inovatif yang mampu menjembatani kekosongan tersebut, terutama dalam membantu peserta didik memahami konsep abstrak secara konkret. Salah satu solusi potensial adalah pengembangan e-LKPD berbasis teknologi, yang terbukti dapat meningkatkan kualitas pembelajaran melalui integrasi berbagai elemen multimedia. Menurut Rozi dan Utami (2023), penggunaan platform digital seperti *Liveworksheet* dalam pengembangan e-LKPD memungkinkan pemaduan antara teks, gambar, simulasi, dan aktivitas interaktif yang dapat memperkuat pemahaman peserta didik secara lebih menyeluruh^[27].

Penggabungan model PBL dalam e-LKPD menjadi strategi pedagogis yang relevan. Mairani et al. (2022) menunjukkan bahwa pendekatan ini mendorong peserta didik untuk belajar secara mandiri maupun kolaboratif dalam menyelesaikan masalah kontekstual, sehingga memicu peningkatan dalam keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kemampuan aplikatif^[28]. Lebih jauh, pengembangan e-LKPD berbasis PBL yang dilengkapi teknologi mutakhir seperti *Augmented Reality* (AR) terbukti mampu meningkatkan keterlibatan peserta didik dan memperkuat representasi visual terhadap konsep kimia abstrak, sebagaimana ditunjukkan oleh

Utami, Syahri, dan Yusnidar (2025) pada materi ikatan kimia^[29].

Dengan demikian, pengembangan e-LKPD berbasis PBL menjadi kebutuhan mendesak untuk meningkatkan kualitas pembelajaran stoikiometri di SMK SMTI Padang. Media ini diharapkan tidak hanya dapat membantu peserta didik dalam membangun pemahaman konseptual yang kuat, tetapi juga membentuk keterampilan abad ke-21 yang dibutuhkan dalam dunia kerja industri, seperti kolaborasi, kreativitas, dan berpikir kritis.

3.1.2 Analisis Peserta Didik (*Learner Analysis*)

Hasil analisis dari 48 responden kelas X-1 TKI dan X-2 TKI SMK SMTI Padang melalui *Google Form* menunjukkan bahwa 68,8% peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami materi stoikiometri, sementara 77,1% menyatakan bahwa materi tersebut tergolong sukar. Temuan ini menegaskan bahwa stoikiometri bukan hanya bersifat kompleks secara matematis, tetapi juga menuntut pemahaman konseptual yang mendalam terhadap hubungan antara massa, mol, volume, dan jumlah partikel. Kompleksitas ini mengindikasikan perlunya pendekatan pembelajaran yang mampu mengakomodasi representasi konsep secara visual, verbal, simbolik, dan matematis. Hal ini diperkuat oleh penelitian Puspita Sari dan Silfianah (2024) yang menekankan pentingnya penggunaan media berbasis multipel representasi untuk meningkatkan pemahaman konsep abstrak dalam pembelajaran kimia^[30].

Selain itu, 68,8% peserta didik menyatakan kesediaan untuk menggunakan e-LKPD dalam proses pembelajaran. Respons positif ini mencerminkan kesiapan mereka untuk beradaptasi dengan media digital yang interaktif, serta menunjukkan potensi efektivitas e-LKPD sebagai media belajar yang mendukung pembelajaran mandiri. Hasil ini diperkuat oleh temuan Rahmadoni dan Aini (2025), yang menunjukkan bahwa penerapan e-LKPD berbasis *Problem Based Learning* (PBL) tidak hanya meningkatkan kepraktisan penggunaan, tetapi juga mendorong partisipasi aktif peserta didik serta membantu pemecahan masalah kontekstual industri pemecahan masalah kontekstual industri^[31]. Penelitian serupa oleh Mairani dkk. (2022) di SMK PGRI Pontianak juga membuktikan bahwa e-LKPD PBL pada materi hidrokarbon mampu meningkatkan motivasi, pemahaman konsep, serta keterampilan berpikir kritis peserta didik. Oleh karena itu, pengembangan e-LKPD berbasis PBL menjadi pendekatan strategis untuk menjawab tantangan pembelajaran stoikiometri di SMK^[28].

3.1.3 Analisis Tugas (*Task Analysis*)

Analisis tugas dalam pengembangan e-LKPD stoikiometri dilakukan untuk mengidentifikasi kompetensi-kompetensi esensial yang perlu dikuasai peserta didik. Kompetensi tersebut mencakup konsep dasar seperti massa atom relatif, massa molekul relatif, mol, rumus kimia, serta metode kuantitatif seperti hukum perbandingan massa dan perhitungan konsentrasi larutan. Keseluruhan kompetensi ini bersifat terintegrasi dan menjadi landasan penting dalam memahami perhitungan kimia yang aplikatif di industri.

Analisis ini juga disesuaikan dengan Capaian Pembelajaran Fase E dalam Kurikulum Merdeka yang diterapkan di SMK SMTI Padang, yang menekankan pada pengembangan kemampuan berpikir kritis dan aplikatif. Dengan pendekatan ini, guru dapat merancang aktivitas pembelajaran yang mendorong peserta didik untuk mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, serta menyusun solusi berdasarkan data yang tersedia. Hal ini sejalan dengan penelitian Marbun (2023) yang mengembangkan e-LKPD PBL stoikiometri dengan pendekatan bertahap dari pengenalan konsep dasar hingga aplikasi masalah kontekstual, yang terbukti meningkatkan hasil belajar peserta didik^[32].

3.1.4 Analisis Tujuan Pembelajaran (Specifying Instructional Objectives)

Analisis tujuan pembelajaran merumuskan sasaran yang selaras dengan capaian kurikulum. Tujuan pembelajaran pada materi stoikiometri dirancang untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan aplikatif. Empat tujuan pembelajaran yang ditetapkan adalah: (1) menganalisis massa atom relatif (Ar) dan massa molekul relatif (Mr), (2) menerapkan konsep mol, (3) menerapkan rumus kimia dalam perhitungan reaksi, serta (4) mengaplikasikan konsep konsentrasi larutan pada konteks praktis.

Perumusan tujuan pembelajaran memiliki peran penting dalam menjabarkan Capaian Pembelajaran (CP) menjadi sasaran yang konkret dan terukur. Sesuai dengan Panduan Pembelajaran dan Asesmen (2022), tujuan pembelajaran idealnya mencakup dua komponen utama, yaitu kompetensi yang dikembangkan dan lingkup materi yang dipelajari^[33].

Temuan dari kelima tahap pada fase *Define* memperkuat urgensi pengembangan e-LKPD berbasis *Problem Based Learning* (PBL) untuk peserta didik kelas X SMK SMTI Padang. Strategi ini diharapkan mampu memfasilitasi pembelajaran yang kontekstual dan bermakna, serta meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap konsep-konsep stoikiometri yang bersifat abstrak dan kompleks.

3.2 Design

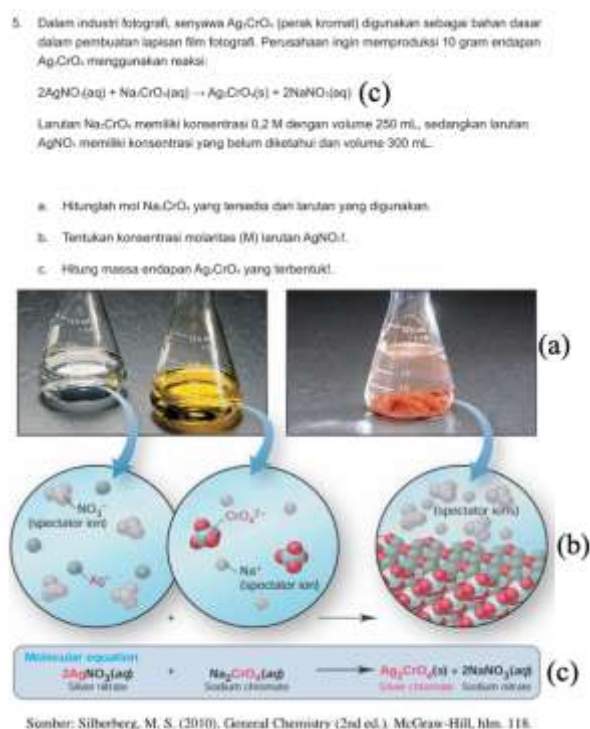
Tahap *Design* merupakan fase kritis dalam pengembangan bahan ajar yang bertujuan untuk mentransformasikan hasil analisis kebutuhan menjadi kerangka pembelajaran yang sistematis. Setelah menetapkan Tujuan Pembelajaran (TP) dan Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) untuk e-LKPD, proses desain dilaksanakan melalui tiga langkah utama: (1) pemilihan dan pengorganisasian konten pembelajaran, (2) penentuan media, format penyajian yang sesuai, dan pengembangan prototipe awal bahan ajar.

3.2.1 Pemilihan dan pengorganisasian konten pembelajaran

Konten pembelajaran stoikiometri dipilih secara selektif untuk mendukung penerapan pendekatan PBL. Materi inti yang dipilih meliputi Ar, Mr, konsep mol, rumus kimia, dan perhitungan konsentrasi larutan.

Pengorganisasian konten disusun berjenjang, mulai dari pengenalan konsep dasar hingga penerapan dalam konteks industri kimia, seperti perhitungan kebutuhan bahan baku atau optimasi reaksi. Penyusunan ini bertujuan membangun pemahaman konseptual yang sistematis dan berkelanjutan.

Seluruh konten dirancang agar kontekstual melalui integrasi studi kasus berbasis industri. Pendekatan ini mengembangkan kemampuan peserta didik dalam berpikir kritis, analitis, dan solutif. Prinsip multirepresentasi juga diimplementasikan, mencakup tiga level representasi kimia: makroskopik (fenomena nyata), submikroskopik (partikel zat), dan simbolik (persamaan reaksi) secara terpadu^[34]. Ilustrasi konten dengan ketiga representasi tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Makroskopik, (b) submikroskopik, dan (c) simbolik

3.2.2 Merancang format, media, dan prototipe awal pembuatan bahan e-LKPD

Perancangan awal e-LKPD difokuskan pada struktur halaman yang terorganisasi, alur aktivitas yang sistematis, serta antarmuka digital yang intuitif. Materi disajikan secara bertahap, dimulai dari Ar dan Mr hingga perhitungan konsentrasi, dengan logika penyusunan yang memfasilitasi keterkaitan antar konsep. Pendekatan ini memastikan bahwa konten disajikan secara logis dan mendukung peserta didik dalam membangun pemahaman yang terintegrasi.

Media pendukung seperti gambar, sumber link literasi, link soal-soal, dan tautan video dipilih untuk membantu memvisualisasikan konsep abstrak melalui prinsip-prinsip multirepresentasi.

Elemen-elemen tersebut dirancang berdasarkan prinsip PBL, seperti penyajian masalah, pertanyaan masalah kontekstual, pertanyaan pemicu, dan ruang untuk jawaban eksploratif. Hal ini sejalan dengan temuan Felitasari & Rusmini (2022) yang menekankan bahwa

keberhasilan PBL sangat ditentukan oleh kualitas desain skenario masalah dan keterlibatan peserta didik dalam proses eksploratif. Penulis sepakat bahwa pendekatan ini efektif dalam menstimulasi berpikir kritis dan membangun kemandirian belajar, khususnya ketika diterapkan dalam format digital yang interaktif seperti e-LKPD ini^[35].

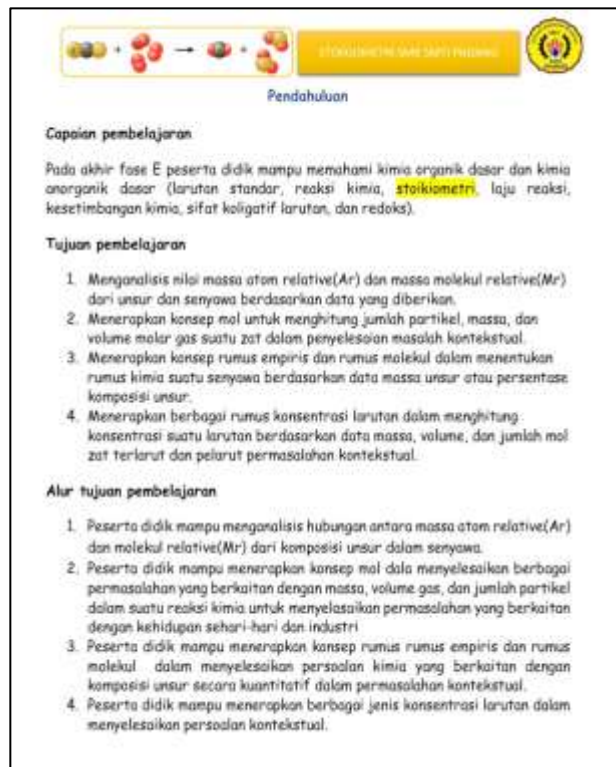
Rincian desain awal e-LKPD PBL meliputi

- a. Halaman pembuka (*Cover*): Memuat identitas e-LKPD, penulis, pembimbing, fase pembelajaran, dan ilustrasi tematik sesuai topik (Gambar 2).



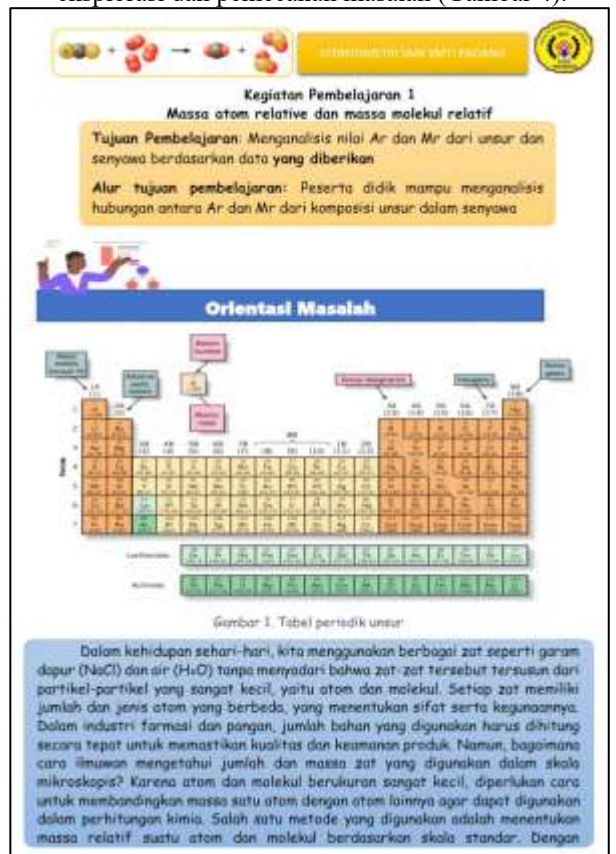
Gambar 2. *Cover* e-LKPD PBL Stoikiometri SMTI Padang

- b. Pendahuluan: Menyajikan capaian pembelajaran dan sasaran belajar, berikut langkah sistematis untuk mencapainya (Gambar 3).



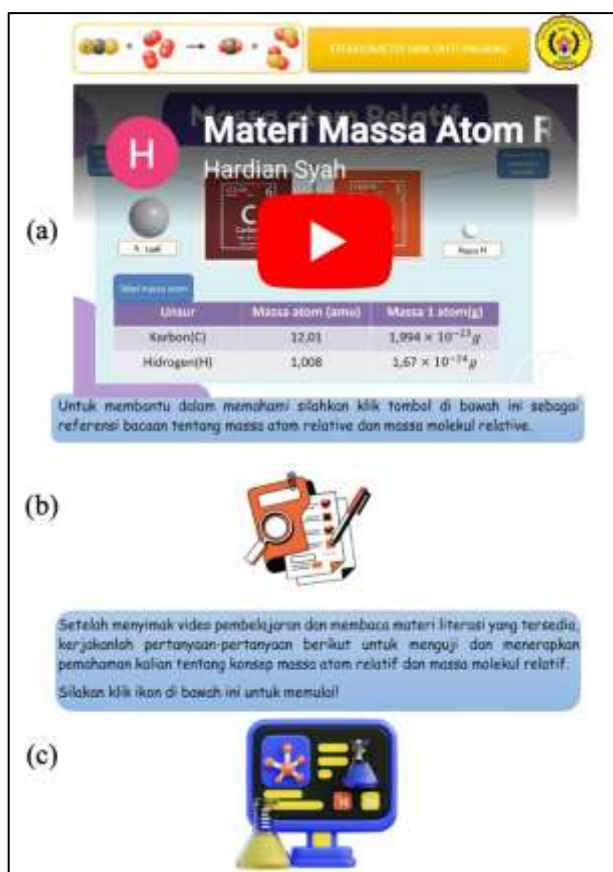
Gambar 3. Pendahuluan e-LKPD PBL Stoikiometri SMTI Padang

- c. Kegiatan Pembelajaran: Terbagi dalam empat kegiatan pembelajaran berdasarkan urutan tujuan dan sintaks PBL, mengarahkan peserta didik melalui eksplorasi dan pemecahan masalah (Gambar 4).



Gambar 4. Kegiatan Pembelajaran e-LKPD PBL Stoikiometri SMTI Padang

- d. Ikon literasi, video, dan soal disematkan dalam e-LKPD untuk memperkuat aksesibilitas materi melalui pendekatan visual dan interaktif, seperti tautan video dan latihan berbasis *Google Form* (Gambar 5). Strategi ini mengadopsi prinsip desain antarmuka yang dikemukakan oleh Nordin et al. (2020), yang menekankan pentingnya integrasi elemen visual dan interaktif dalam pengembangan bahan ajar digital untuk meningkatkan atensi, pemahaman konsep, serta retensi belajar peserta didik. Dalam konteks penelitian ini, penyematan ikon tersebut berfungsi sebagai pengarah perhatian sekaligus sebagai navigasi intuitif yang mendukung pengalaman belajar mandiri secara lebih terstruktur dan menarik^[36]. *Icon* literasi mengarah ke bahan bacaan atau sumber referensi digital yang mendukung pemahaman konsep, video pembelajaran yang dibuat peneliti membantu visualisasi materi abstrak secara multirepresentasi, sedangkan *icon* soal membawa peserta didik ke *Google form* latihan yang berisi soal kontekstual berbasis masalah, tampilan ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. (a) video pembelajaran, (b) *icon* literasi, dan (c) *icon* soal latihan

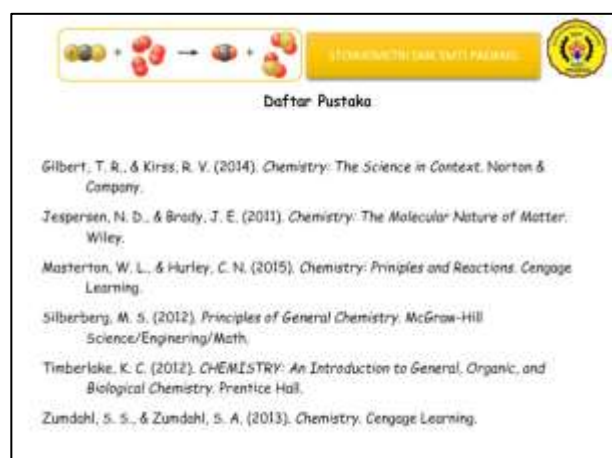
- e. Penilaian (*Assessment*): evaluasi sumatif adalah proses penilaian yang dilaksanakan pada akhir unit pembelajaran stoikiometri dengan tujuan menilai pencapaian hasil belajar peserta didik secara menyeluruh^[37]. Evaluasi ini memberikan gambaran komprehensif mengenai tingkat penguasaan peserta didik terhadap materi stoikiometri yang telah diajarkan. Untuk mendukung tujuan tersebut, disediakan soal-soal pilihan ganda dan isian singkat

yang dirancang sesuai dengan setiap TP yang dibuat, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Assessment* e-LKPD PBL Stoikiometri SMTI Padang

- f. Daftar Pustaka: Memuat referensi utama yang digunakan sebagai landasan teoritis dalam penyusunan e-LKPD stoikiometri, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Daftar Pustaka e-LKPD

Pengembangan e-LKPD berbasis *Problem Based Learning* (PBL) difokuskan pada pemilihan perangkat lunak yang tepat guna menjamin kualitas desain visual, keterbacaan informasi, serta aksesibilitas media secara digital. *Microsoft Word* 2021 dimanfaatkan untuk menyusun konten dan tata letak karena fitur-fiturnya yang mendukung pengaturan teks, pembuatan tabel, dan pengeditan gambar secara efisien, sehingga memungkinkan format pembelajaran PBL disajikan secara sistematis dan konsisten. Untuk memperkuat aspek visual, *Canva* digunakan sebagai alat desain grafis karena menyediakan beragam elemen estetis yang mendukung pemahaman konsep abstrak melalui ikon, ilustrasi, dan info grafis.

Studi oleh Jamaludin dan Sedek (2023) menunjukkan bahwa *Canva* merupakan alat digital yang efektif dalam meningkatkan pengalaman belajar peserta didik, terutama karena fitur visual interaktif yang mudah diakses dan kemudahan kolaborasi daring. Penggunaan *Canva* dalam penelitian ini sejalan dengan temuan tersebut, yaitu sebagai upaya untuk menghasilkan e-LKPD yang tidak hanya informatif, tetapi juga menarik secara visual dan mendukung pemahaman konsep kimia yang kompleks^[38].

Untuk menghadirkan interaktivitas dan aksesibilitas lintas platform, dokumen PDF hasil desain kemudian dikonversi menjadi format situs *web* menggunakan layanan yang digunakan yaitu *Heyzine*. Proses konversi ini memungkinkan halaman-halaman e-LKPD ditampilkan layaknya *website* interaktif, dengan navigasi tombol, tautan antar halaman, hingga pemutaran video langsung di dalam e-LKPD. Dengan cara ini, e-LKPD dapat diakses lebih mudah di berbagai perangkat (*smartphone*, laptop, dan *komputer*) tanpa perlu aplikasi pembaca PDF tambahan, sekaligus memberikan pengalaman belajar yang lebih *modern* dan responsif bagi peserta didik.

Tahapan selanjutnya yaitu pengujian validitas dan kepraktisan dilakukan untuk menilai kelayakan isi, kejelasan tampilan, dan kemudahan penggunaan. Evaluasi ini diperlukan guna memastikan e-LKPD yang dikembangkan memenuhi kriteria media pembelajaran yang efektif dan dapat diimplementasikan secara optimal dalam proses pembelajaran berbasis masalah di kelas.

3.3 Develop

Tahap *Develop* melanjutkan proses dari fase *Design* dengan menyajikan hasil pengujian validitas dan kepraktisan e-LKPD model PBL pada materi stoikiometri. Semua data yang terkumpul telah dianalisis, dan berikut ini disajikan penjelasan mengenai pelaksanaan serta temuan uji validitas dan kepraktisan media tersebut.

3.3.1 Validitas

Enam validator, terdiri atas tiga dosen Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang dan tiga guru DDTKI 6 SMK SMTI Padang, melakukan penilaian validitas dengan menggunakan angket terstruktur. Evaluasi tersebut meninjau setiap tujuan pembelajaran pada materi stoikiometri untuk memastikan kesesuaian konten dengan kurikulum, ketepatan ilmiah, dan kelayakan penggunaan dalam proses pembelajaran. Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Validitas TP 1

No	Aspek yang dinilai	Nilai V	Kategori kevalidan
1	Kelayakan isi dan materi	0,85	Valid
2	Kebahasaan	0,85	Valid
3	Penyajiaan	0,867	Valid
4	kegrafisan	0,86	Valid
Rata-rata		0,86	Valid

Tabel 3 memperlihatkan bahwa tujuan pembelajaran pertama mengenai massa atom dikategorikan valid dengan skor rata-rata 0,86.

Tabel 4. Hasil Validitas TP 2

No	Aspek yang dinilai	Nilai V	Kategori kevalidan
1	Kelayakan isi dan materi	0,86	Valid
2	Kebahasaan	0,85	Valid
3	Penyajiaan	0,85	Valid
4	kegrafisan	0,86	Valid
Rata-rata		0,86	Valid

Tabel 4 menunjukkan bahwa tujuan pembelajaran kedua, yang menitikberatkan pada konsep mol, memperoleh skor rata-rata 0,86 dan tergolong valid, menandakan kesesuaian dan kelayakan konten untuk e-LKPD.

Tabel 5. Hasil Validitas TP 3

No	Aspek yang dinilai	Nilai V	Kategori kevalidan
1	Kelayakan isi dan materi	0,85	Valid
2	Kebahasaan	0,85	Valid
3	Penyajiaan	0,825	Valid
4	kegrafisan	0,83	Valid
Rata-rata		0,84	Valid

Berdasarkan data pada Tabel 5, tujuan pembelajaran ketiga yang berfokus pada materi rumus kimia memperoleh skor rata-rata sebesar 0,84, yang termasuk dalam kategori valid. Hasil ini menunjukkan bahwa substansi materi dan tujuan pembelajaran telah memenuhi kriteria kelayakan isi secara ilmiah dan pedagogis. Validitas ini menegaskan bahwa komponen tersebut dapat dijadikan dasar yang kuat dalam penyusunan e-LKPD, karena telah sesuai dengan kurikulum, mendukung pencapaian kompetensi peserta didik, serta relevan untuk diterapkan dalam proses pembelajaran yang kontekstual dan bermakna.

Tabel 6. Hasil Validitas TP 4

No	Aspek yang dinilai	Nilai V	Kategori kevalidan
1	Kelayakan isi dan materi	0,85	Valid
2	Kebahasaan	0,86	Valid
3	Penyajian	0,85	Valid
4	kegrafisan	0,86	Valid
Rata-rata		0,85	Valid

Berdasarkan Tabel 6, tujuan pembelajaran keempat yang mengkhususkan pada materi konsentrasi larutan mencapai skor rata-rata 0,85, sehingga tergolong valid.

Temuan ini mengindikasikan bahwa ruang lingkup materi serta sasaran pembelajaran telah memenuhi standar kelayakan dari segi keilmuan dan pedagogis. Validitas yang tinggi tersebut menegaskan bahwa komponen ini dapat dijadikan pijakan yang kokoh dalam merancang e-LKPD, karena sudah selaras dengan kebutuhan kurikulum dan memadai untuk memfasilitasi pemahaman peserta didik secara mendalam dalam konteks praktik laboratorium maupun aplikasi industri.

Semua tujuan pembelajaran dievaluasi menggunakan koefisien Aiken's V dengan empat kriteria penilaian yaitu substansi materi, kebahasaan, penyajian, dan grafis. Hasil pada Tabel 3 hingga Tabel 6 menunjukkan bahwa komponen substansi materi memenuhi ambang validitas, menegaskan kesesuaian konten e-LKPD dengan tujuan pembelajaran seperti diungkapkan oleh Arifianti (2025)^[39]. Aspek penyajian juga valid, mengindikasikan struktur naskah sesuai sintaks *Problem Based Learning*, sejalan dengan temuan Dede dan Miranda (2016) yang menyatakan bahwa model PBL dalam e-LKPD meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui kolaborasi dan diskusi kelompok^[40]. Selain itu, validitas kebahasaan tergolong tinggi, bahasa Indonesia digunakan secara efektif, efisien, dan sesuai kaidah KBBI yang mendukung keterbacaan dan pemahaman peserta didik, sebagaimana dijelaskan oleh Basri (2024) sebagai faktor penting dalam keberhasilan media pembelajaran^[41].

Keterangan:

- TP1 : Menganalisis nilai Ar dan Mr dari unsur dan senyawa berdasarkan data yang diberikan.
 TP2 : Menerapkan konsep mol untuk menghitung jumlah partikel, massa, dan volume molar gas suatu zat dalam senyawa berdasarkan data massa unsur atau persentase komposisi unsur.
 TP3 : Menerapkan konsep rumus empiris dan rumus molekul dalam menentukan rumus kimia suatu senyawa berdasarkan data massa unsur atau persentase komposisi unsur.
 TP4 : Menerapkan berbagai rumus konsentrasi larutan dalam menghitung konsentrasi suatu larutan berdasarkan data massa, volume, dan jumlah mol zat terlarut dan pelarut permasalahan kontekstual.

3.3.2 Praktikalitas

Tahap pengujian kepraktisan melibatkan tiga guru DDTKI 6 dan 28 peserta didik kelas X-4 TKI SMK SMTI Padang yang mengisi angket khusus untuk setiap tujuan pembelajaran dalam materi stoikiometri. Prosedur ini dirancang untuk menilai kemudahan penggunaan, tingkat pemahaman, dan kelancaran penerapan e-LKPD selama proses belajar-mengajar. Evaluasi kepraktisan sangat penting agar e-LKPD tidak hanya memenuhi syarat validitas konten, tetapi juga efektif dan efisien saat digunakan di kelas. Ringkasan hasil penilaian kepraktisan oleh guru ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 7. Hasil Praktikalitas Guru

Aspek yang dinilai	TP				Kategori kepraktisan
	1	2	3	4	
Kemudahan penggunaan	92%	92%	92%	93%	Sangat praktis
Efisiensi Pembelajaran	87%	87%	87%	87%	Sangat praktis
Manfaat	92%	92%	92%	92%	Sangat praktis
Rata-rata	90%	90%	90%	90%	Sangat Praktis

Hasil analisis pada Tabel 7 menunjukkan bahwa e-LKPD mendapatkan kategori “sangat praktis” pada ketiga aspek penilaian, kemudahan penggunaan, efisiensi pembelajaran, dan manfaat yang diperoleh. Temuan ini diperkuat oleh data praktikalitas dari peserta didik kelas X-4 TKI, yang disajikan pada Tabel 8, di mana responden juga memberikan nilai tinggi untuk aspek-aspek tersebut. Hasil uji ini menegaskan bahwa e-LKPD tidak hanya valid secara konten, tetapi juga sangat berfungsi dalam mendukung proses pembelajaran stoikiometri di kelas.

Tabel 8. Hasil Praktikalitas Peserta Didik SMTI Padang

Aspek yang dinilai	TP				Kategori kepraktisan
	1	2	3	4	
Kemudahan penggunaan	91%	91%	89%	89%	Sangat praktis
Efisiensi Pembelajaran	90%	89%	90%	92%	Sangat praktis
Manfaat	93%	92%	92%	91%	Sangat praktis
Rata-rata	91%	91%	91%	91%	Sangat Praktis

Rata-rata skor kepraktisan e-LKPD yang diperoleh dari guru dan peserta didik masing-masing sebesar 90% dan 91%, sehingga keduanya masuk dalam kategori “sangat praktis”. Penilaian tersebut meliputi tiga aspek utama: kemudahan penggunaan, efisiensi waktu pembelajaran, dan manfaat media. Guru dan peserta didik sama-sama menyatakan bahwa e-LKPD sangat mudah digunakan, berkat petunjuk yang jelas, langkah kerja terstruktur, dan ikon interaktif yang intuitif. Dalam hal efisiensi waktu, kedua kelompok menilai e-LKPD sangat praktis karena mempersingkat durasi penyampaian materi guru tidak perlu mengulangi penjelasan berulang dan memungkinkan peserta didik mengakses video pembelajaran serta mengerjakan soal secara mandiri. Adapun aspek manfaat, kedua pihak sepakat bahwa e-LKPD memberikan dukungan signifikan terhadap proses belajar mengajar, terutama dalam mendorong diskusi kelompok dan memudahkan koreksi tugas. Temuan ini konsisten dengan studi Septiani tahun 2023, yang menunjukkan bahwa e-LKPD efektif memperkuat peran guru sebagai fasilitator dan merangsang kolaborasi peserta didik dalam memahami konsep stoikiometri^[42].

Selain itu, sesuai rekomendasi pada penelitian Oktavia & Rakimahwati tahun 2023, lembar kerja yang ideal harus sistematis, menarik, dan mudah dipahami semua karakteristik tersebut terpenuhi dalam e-LKPD berbasis PBL yang dikembangkan di SMTI Padang^[43].

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengembangan e-LKPD Stoikiometri kelas X Fase E di SMK SMTI Padang dengan model 4-D efektif menghasilkan media pembelajaran yang sistematis dan terstruktur. e-LKPD berbasis PBL ini memiliki tingkat validitas yang tinggi, dengan nilai Aiken's V di atas 0,84 untuk setiap tujuan pembelajaran, serta menunjukkan kepraktisan sangat baik dengan skor di atas 90% pada aspek kemudahan penggunaan, efisiensi waktu, dan manfaat *instrumen*. Temuan ini menunjukkan bahwa e-LKPD PBL berpotensi mendukung pembelajaran kimia kontekstual yang menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah sesuai tuntutan industri. Penelitian lanjutan disarankan untuk mencakup tahap implementasi luas serta pengembangan fitur interaktif berbasis aplikasi atau *web* guna meningkatkan fleksibilitas dan efektivitas pembelajaran digital.

5. REFERENSI

- [1] I. Harlina, A. Hamid K, and R. Mursid. (2018). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif pada Mata Pelajaran Kimia SMK. *Jurnal Teknologi Informasi & Komunikasi dalam Pendidikan*.
- [2] A. N. Azizah and K. Dwiningsih. (2025). Interactive E-Worksheets for Critical Thinking in Chemistry: A Three-Level Representation Approach to Voltaic Cells. *Jurnal Kependidikan: Jurnal Hasil Penelitian dan Kajian Kepustakaan di Bidang Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran*.
- [3] S. Phitanyos and S. Aini. (2025). Pengembangan E-LKPD Materi Reaksi Redoks Berbasis Problem Based Learning (PBL) untuk Fase E SMK. *JlIP(Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan)*.
- [4] M. L. Melini and M. Azhar. (2019). "Stoichiometry Student Worksheet Based on Structured Inquiry with Three Levels of Chemical Representation for 10th Grade Senior High School," *Edukimia*, vol. 1, no. 3.
- [5] A. R. Fitriani, A. Rahmawati, and U. Lathifa, (2022). "Phenomenology of Conceptual Understanding Ability, Representation, and Student Algorithm on Stoichiometry Materials," *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, vol. 4, no. 1.
- [6] R. Yulistiani, T. Kurniati, H. Mukhlisin, and R. Ashari Kurniawan. (2024). "Understanding Indonesian Vocational High School Students' Process of Learning: A Case Study on Chemical Analysis Vocational High School in Pontianak," *Pena Kreatif: Jurnal Pendidikan*, vol. 13, no. 1.
- [7] M. I. Zakaria, S. M. Maat, and F. Khalid. (2019). "A Systematic Review of Problem Based Learning in Education," *Creat Educ*, vol. 10, no. 12.
- [8] H. R. Widarti *et al.* (2025). "Analysis of content development in chemical materials related to ethnoscience: a review," *Journal of Education and Learning*, vol. 19, no. 1.
- [9] R. B. Rudibyani. (2019). "Improving Students' Creative Thinking Ability Through Problem Based Learning Models on Stoichiometric Materials," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing.
- [10] M. Habibi, Sunardi, and Sudiyanto. (2022). "Identification of Opportunities for Utilizing E-Modules with a Problem Based Learning Approach to Facilitate Learning in Vocational High Schools". *Jurnal Edutech Undiksha*, vol. 10, no. 2.
- [11] Nurhayati and D. Kurniawati. (2024). Pengembangan LKPD Berbasis Problem Based Learning Berbantuan Aplikasi PhET pada Materi Asam Basa Fase F. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 8, no. 1.
- [12] R. M. Putri and R. Arianingrum. (2024). Pengembangan e-LKPD Berbasis Problem Based Learning untuk Membelajarkan Keterampilan Berpikir Kritis pada Materi Keseimbangan Kimia. *Jurnal Riset Pembelajaran Kimia*, vol. 9, no. 2.
- [13] A. Handayani and H. D. Koeswanti. (2021). Meta-Analisis Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kreatif. *Jurnal Basicedu*, vol. 5, no. 3.
- [14] R. Putri Wahyuni and T. Sri Wahyuni. (2025). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) Berbasis Problem Based Learning Berbantuan Website WIZER.ME Pada Materi Laju Reaksi. *UNESA Journal of Chemical Education*, vol. 14, no. 1.
- [15] U. Cahyaningsih and A. Ghufro. (2016). Pengaruh Penggunaan Model Problem-Based Learning Terhadap Karakter Kreatif dan Berpikir Kritis dalam Pembelajaran Matematika. *Jurnal Pendidikan Karakter*.
- [16] E. Yupeni, S. Susilawati, and D. Futra, (2025). "Development of PBL-Based Student Worksheets to Improve Problem-Solving Skills and Collaborative Skills of 11th Grade Students in Reaction Rate Material," *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, vol. 17, no. 1.
- [17] W. Winarti, N. Nurfajriani, and M. Simorangkir, (2024). Pengembangan e-LKPD Kimia Berbasis Problem Based Learning Pada Materi Laju Reaksi Sesuai Kurikulum Merdeka. *Jurnal Kependidikan*, vol. 13, no. 2.
- [18] N. Nurmasita, E. Enawaty, I. Lestari, H. Hairida, and E. Erlina. (2023). Pengembangan e-LKPD Berbasis Problem Based Learning (PBL) pada Materi Reaksi Redoks," *Jambura Journal of Educational Chemistry*, vol. 5, no. 1.
- [19] R. M. Ayirahma and M. Muchlis, (2023). Pengembangan E-LKPD Berorientasi Model PBL Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Pada Materi Asam Basa," *Jurnal Pendidikan Indonesia*, vol. 4, no. 6.
- [20] A. Purwanto, M. Nurjayadi, and J. E. Tantaruna. (2020). Pengembangan e-Modul Elektrokimia

- Terintegrasi Lingkungan Berbasis Kontekstual Untuk SMK Kompetensi Keahlian Teknik Otomotif. *JRPK: Jurnal Riset Pendidikan Kimia*, vol. 10, no. 1.
- [21] S. Thiagarajan, D. Semmel, and M. I. Semmel, *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook*. Bloomington, 1974.
- [22] L. R. Aiken, "Three Coefficients Analyzing the Reliability and Validity of Ratings," *Educ Psychol Meas*. 1985.
- [23] A. U. Tendri Pada, B. Kartowagiran, and B. Subali, "Content Validity of Creative Thinking Skills Assessment," in *Proceeding of International Conference On Research, Implementation And Education Of Mathematics And Science*, Yogyakarta, May 2015.
- [24] M. N. N. D. Wahab, W. Wasis, and Y. Yuliani. (2024). "The development of scientific literacy-based learning tools model learning cycle 7E for junior high school," *BIO-INOVED: Jurnal Biologi-Inovasi Pendidikan*, vol. 6, no. 3.
- [25] Syaifudin. Azwar, "Releabilitas dan Validitas," Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012.
- [26] S. Boslaugh and P. A. Watters, "Statistics In a Nutshell," Jul. 2008.
- [27] F. Rozi Akbar and L. Utami. (2023). Inovasi Pembuatan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-LKPD) Menggunakan Liveworksheet. *Journal of Chemistry Education and Integration*, vol. 2, no. 2.
- [28] U. Mairani, E. Enawaty, R. Putra Sartika, R. Muharini, and R. Rasmawan. (2022). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (e-LKPD) Berbasis Problem Based Learning (PBL) pada Materi Hidrokarbon. *Jurnal Education and development*, vol. 10, no. 3.
- [29] Chelly Sonelvia Utami, Wilda Syahri, and Yusnidar. (2025). Pengembangan e-LKPD Berbasis Problem Based Learning (PBL) Dilengkapi Dengan Augmented Reality (AR) Sebagai Inovasi Pembelajaran Pada Materi Ikatan Kimia Fase F Kelas XI SMA. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, vol. 4, no. 1.
- [30] Y. Puspita Sari and I. Silfianah. (2024). E-LKPD Interaktif Berbasis Multipel Representasi pada Materi Laju Reaksi. *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, vol. 18, no. 1.
- [31] G. N. Rahmadoni and S. Aini. (2025). Pengembangan e-LKPD Berbasis Problem Based Learning untuk Materi Hidrokarbon di SMK Fase E," *Edukatif: Jurnal Ilmu Pendidikan*, vol. 7, no. 1.
- [32] E. Marbun, M. Sitorus, and S. Tarigan, "Development of Chemistry Electronic Student Worksheets Problem Based Learning Model to Improve Student's Learning Outcome in Grade X Senior High School on Stoichiometry Topic," European Alliance for Innovation n.o., Dec. 2023.
- [33] Y. Anggraena *et al.*, *Panduan Pembelajaran dan Asesmen*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2022.
- [34] S. Sunyono, *Model Pembelajaran Multipel Representasi*, Pertama. Bandar Lampung: Media Akademi, 2015.
- [35] A. Felitasari and R. Rusmini. (2022). "Development of E-Worksheet Assisted by Liveworksheets to Improve Science Process Skills and Collaboration on Chemical Equilibrium Materials," *Scientiae Educatia*, vol. 11, no. 1.
- [36] H. Nordin, D. Singh, and Z. Mansor. (2020). "An Empirical Study of e-Learning Interface Design Elements for Generation Z," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 9.
- [37] S. Artama *et al.*, *Evaluasi Hasil Belajar*, Pertama., vol. 1. Medan: PT. Mifandi Mandiri Digital, 2023.
- [38] N. Farhana Jamaludin and S. Farahin Sedek. (2023). "CANVA as a Digital Tool for Effective Student Learning Experience," *Journal of Advanced Research in Computing and Applications*, vol. 33, no. 1.
- [39] D. Arifianti *et al.*, (2025). "Improvement of Student Learning Outcomes Using E-Worksheets Assisted Live Worksheets on Basic Chemistry Laws Material. *Jurnal Pijar Mipa*, vol. 20, no. 3.
- [40] I. Melina, N. Fitriyah, and M. A. Ghofur. (2021). Pengembangan E-LKPD Berbasis Android dengan Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) untuk Meningkatkan BERPIKIRerpikir Kritis. *Jurnal Ekonomi & Pendidikan*, vol. 18, no. 1.
- [41] Y. Basri, Y. Irhasyurna, and Y. Khairunnisa. (2024). Pengembangan E-LKPD Berbasis Liveworksheets untuk Melatihkan Keterampilan Berpikir Kritis Peserta Didik pada Materi Green Chemistry. *Journal of Banua Science Education*, vol. 4, no. 2.
- [42] W. Septiani, A. Amir, J. Hamka, A. (2023). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Elektronik (E-Lkpd) Pada Materi Teks Negosiasi Siswa Kelas X Sman 1 Sarolangun.
- [43] L. S. Oktavia and R. Rakimahwati. (2023). Validitas Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) Berbasis PBL untuk Meningkatkan Hasil Belajar Matematika Siswa Kelas II di Sekolah Dasar," *JIPM (Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika)*, vol. 11, no. 2.