

Pengembangan E-Engklek Math Game Berbasis Web dengan Pendekatan *Hypothetical Learning Trajectory* pada Materi Bilangan Rasional untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis Siswa Kelas VII SMP

Suci Rahmadani^{1✉}, Wardi Syafmen², Nofverma³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi, Indonesia

¹ suciskripsi63@gmail.com, ² wardisyafmen@gmail.com, ³ novferma@unja.ac.id

✉ Corresponding Author: suciskripsi63@gmail.com

ABSTRACT

Seventh-grade students at SMP Nurul Khoir Jambi showed very low mathematical critical thinking: on an essay-type preliminary test taken by 25 students, the mean score was 31.50% of the maximum, and interpretation was the weakest indicator (3.0%). This article aims to design E-Engklek Math Game, a web-based mathematics learning game that adapts the Indonesian hopscotch game Engklek to the topic of rational numbers through a Hypothetical Learning Trajectory (HLT) approach. The study is Research and Development using the ADDIE model, and this article reports only the Analysis and Design phases. Data were collected through classroom observation, a teacher interview, a student needs questionnaire, the preliminary test, and a review of the Phase D curriculum, and were analysed using descriptive statistics and qualitative data reduction. The analysis translated the test profile and classroom conditions into four functional requirements, the most decisive being that students must state the known and asked information before calculating. The design phase produced product specifications, a mapping of game actions to rational number concepts and four critical thinking indicators, a six-stage HLT specifying predicted responses, likely errors, and planned feedback, a nine-screen storyboard, and draft evaluation instruments. The design contribution lies in using the HLT to make an interpretation step a required condition on every game square and to link hints and feedback to anticipated errors. The product has not yet been developed, validated, or tested; its validity, practicality, and effectiveness will be examined in the Development, Implementation, and Evaluation phases.

Keywords: E-Engklek Math Game; Hypothetical Learning Trajectory; Mathematical Critical Thinking; Rational Numbers; Web-Based Mathematics Learning

Artikel Info

Masuk	Revisi	Diterima	Terbit
Juli 19, 2026	Agustus 21, 2026	September 23, 2026	Oktober 18, 2026

PENDAHULUAN

Berpikir kritis matematis menuntut siswa melakukan lebih dari sekadar menemukan jawaban. Siswa perlu memahami informasi dalam masalah, menghubungkannya dengan konsep yang relevan, menilai ketepatan strategi, lalu menarik kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan. Facione (2015) merumuskan enam keterampilan inti berpikir kritis, yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri. Kajian sistematis Sapitri dan Meiliasari (2026) terhadap 12 artikel terbitan 2020–2025 menunjukkan bahwa kerangka Facione banyak dipakai dalam penelitian berpikir kritis.

Penelitian ini memakai empat keterampilan pertama, yaitu interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi, karena keempatnya dapat ditelusuri langsung dari jawaban tertulis siswa pada soal uraian, sedangkan eksplanasi dan regulasi diri memerlukan sumber data tambahan. Bukti empiris pada jenjang SMP menunjukkan bahwa keempat keterampilan tersebut belum berkembang merata. Melgusmayenti dan Isnaniah (2021) menganalisis lembar jawaban ujian tengah semester 36 siswa kelas VII SMPN 5 Bukittinggi dan memperoleh capaian 8,87% pada interpretasi, 3,5% pada analisis, 48% pada evaluasi, dan 40% pada inferensi. Siswa dalam penelitian itu jarang menuliskan informasi yang diketahui dan ditanyakan serta kesulitan menyusun model matematika. Fitri et al. (2023) menemukan pola berbeda pada siswa kelas IX: siswa berkemampuan rendah masih memenuhi indikator interpretasi, sedangkan keempat indikator baru terpenuhi oleh siswa berkemampuan tinggi. Perbedaan pola ini menunjukkan bahwa profil berpikir kritis dipengaruhi oleh instrumen, materi, dan karakteristik siswa. Kedua penelitian bersifat diagnostik dan belum menawarkan rancangan pembelajaran untuk memperbaiki indikator yang lemah. Oleh karena itu, diagnosis lokal perlu dilakukan sebelum merancang intervensi.

Diagnosis lokal dilakukan di kelas VII SMP Nurul Khoir Jambi. Tes awal berbentuk uraian yang diikuti 25 siswa menghasilkan rata-rata 31,50% dari skor maksimum. Capaian per indikator adalah 3,0% untuk interpretasi, 45,0% untuk analisis, 41,0% untuk evaluasi, dan 37,0% untuk inferensi, sehingga interpretasi menjadi indikator terlemah (rincian pada Tabel 5). Observasi pembelajaran dan wawancara dengan guru matematika menunjukkan bahwa siswa cenderung mengikuti contoh dan prosedur dari guru, dan banyak siswa masih memerlukan arahan ketika soal tidak serupa dengan contoh. Sekolah telah memanfaatkan smartboard, Microsoft PowerPoint, dan Quizizz, tetapi pemanfaatan tersebut lebih banyak untuk menyajikan materi dan kuis, belum untuk aktivitas yang secara khusus melatih berpikir kritis matematis. Dengan demikian, masalah utama yang perlu dijawab bukan hanya kemampuan berhitung, melainkan kebiasaan siswa melewati tahap memahami masalah sebelum mengoperasikan bilangan.

Game-Based Learning (GBL) memberi peluang untuk mengubah kebiasaan tersebut. Prensky (2007) memandang permainan edukatif sebagai paduan antara tujuan belajar, aturan, tantangan, dan umpan balik. Meta-analisis Mao et al. (2022) terhadap 20 penelitian dengan 1.947 partisipan menemukan pengaruh positif GBL terhadap berpikir kritis ($g = 0,863$), meskipun pengaruh pada keterampilan berpikir kritis ($g = 0,661$) lebih kecil daripada pada disposisinya. Pada jenjang SMP di Indonesia, Radityastuti et al. (2023) melaporkan bahwa digital game-based learning pada materi persamaan linear satu variabel menghasilkan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa kelas VII yang lebih baik daripada permainan nondigital maupun pembelajaran berbasis masalah. Hartanto et al. (2024) menemukan pengaruh GBL berbantuan kuis Baamboozle terhadap berpikir kritis matematis siswa SMP, sedangkan Fatmawati dan Siregar (2026) memperoleh hasil serupa pada materi bangun ruang sisi datar di madrasah tsanawiyah dengan instrumen yang memuat indikator interpretasi, analisis, evaluasi, dan inferensi. Penelitian-penelitian tersebut menguji pengaruh model atau permainan yang sudah

tersedia, tetapi belum menguraikan bagaimana tugas dalam permainan dirancang untuk memunculkan setiap indikator berpikir kritis.

Celah tersebut penting karena aturan permainan tidak dengan sendirinya membuat siswa berpikir kritis. Meta-analisis Wouters dan van Oostendorp (2013) menunjukkan bahwa dukungan instruksional di dalam permainan, terutama refleksi, pemodelan, dan umpan balik, meningkatkan hasil belajar dibandingkan permainan tanpa dukungan tersebut. Kajian sistematis Hussein et al. (2022) terhadap 43 artikel digital game-based learning matematika K-12 juga mencatat bahwa topik yang paling sering diteliti adalah operasi aritmetika, sedangkan keterampilan abad ke-21 seperti berpikir kritis masih jarang dikaji. Artinya, mekanisme permainan perlu dirancang secara sengaja agar setiap aksi pemain menuntut proses berpikir tertentu: aturan untuk bergerak dapat mewajibkan siswa membaca dan menyatakan informasi (interpretasi), tantangan dapat menuntut pemilihan strategi (analisis), umpan balik dapat meminta siswa memeriksa jawaban dan alasannya (evaluasi), dan penutup level dapat meminta siswa merumuskan kesimpulan (inferensi).

Permainan tradisional Engklek menyediakan struktur yang sesuai untuk mekanisme tersebut. Petak-petaknya bernomor, pemain bergerak secara berurutan, dan setiap langkah terikat aturan. Kajian sistematis Mubaraq et al. (2025) terhadap 41 artikel terbitan 2018–2025 menunjukkan bahwa Engklek telah dikaitkan dengan hasil belajar, pemecahan masalah, berpikir kreatif, pemahaman konsep, motivasi, komunikasi matematis, dan kecerdasan logis-matematis. Kajian tersebut juga mencatat dominasi domain geometri dan model GBL, sementara berpikir kritis tidak muncul sebagai kemampuan yang dilaporkan. Pada jenjang SMP, Putri et al. (2021) mengembangkan media Engklek fisik berupa spanduk petak dan kartu soal dengan model ADDIE untuk komunikasi matematis siswa kelas VII dan memperoleh kategori sangat valid, sangat layak, dan sangat efektif. Ardiansyah et al. (2023) mengembangkan bahan ajar etnomatematika berbasis Engklek dan GBL untuk berpikir kreatif siswa SMP/MTs melalui ADDIE yang dimodifikasi hingga tahap pengembangan. Kedua penelitian tersebut memperlihatkan potensi Engklek, tetapi media yang dikembangkan berbentuk fisik atau cetak, menyasar kemampuan selain berpikir kritis, dan belum menyertakan lintasan belajar yang memprediksi respons siswa pada setiap petak.

Bentuk digital berbasis web dipertimbangkan karena satu media dapat memuat permainan, materi, soal, petunjuk, dan umpan balik, serta dapat dibuka melalui peramban tanpa instalasi. Meta-analisis Samo et al. (2023) terhadap 30 penelitian eksperimen di Indonesia menemukan pengaruh positif yang signifikan dari media matematika berbasis website terhadap hasil belajar, tanpa perbedaan berarti antarjenjang pendidikan. Syafmen dan Indri (2023) mengembangkan media M-Learning teka-teki silang bergambar berbantuan Google Sites untuk siswa SMP dengan model ADDIE dan melaporkan media tersebut valid, praktis, dan efektif terhadap motivasi belajar. Fitria et al. (2024) memvalidasi media interaktif untuk pemahaman konsep bilangan bulat kelas VII. Penelitian media berbasis web tersebut umumnya menyasar hasil belajar, motivasi, atau pemahaman konsep, dan berfokus pada penyajian materi, bukan pada perancangan tugas yang melatih berpikir kritis secara bertahap.

Perancangan tugas yang bertahap memerlukan kerangka yang eksplisit. Hypothetical Learning Trajectory (HLT) menurut Simon (1995) terdiri atas tujuan pembelajaran, aktivitas pembelajaran, dan hipotesis proses belajar, yaitu dugaan tentang bagaimana pemahaman siswa akan berkembang melalui aktivitas tersebut. Clements dan Sarama (2004) menegaskan bahwa lintasan belajar merupakan urutan tugas yang disusun mengikuti perkembangan berpikir siswa. Firmasari et al. (2023) menyusun HLT untuk siswa SMP berdasarkan analisis kurikulum, hasil tes, observasi, dan wawancara, sedangkan Yuliardi dan Rosjanuardi (2021) menunjukkan bahwa HLT perlu diuji dan direvisi melalui perbandingan dengan proses belajar yang benar-benar terjadi. Penelitian HLT lain, misalnya pada perbandingan trigonometri (Thohari et al., 2024) dan volume bangun ruang (Rizki & Amir, 2025), menghasilkan lintasan belajar untuk pembelajaran tatap muka atau lembar kerja.

Dalam penelitian ini, HLT tidak hanya menjadi landasan teori, tetapi juga kerangka operasional untuk menentukan urutan petak, isi tantangan, prediksi respons, serta petunjuk dan umpan balik di dalam permainan. Tabel 1 merangkum posisi penelitian ini terhadap kelompok penelitian yang ditelaah. Perbandingan difokuskan pada media, kemampuan yang dituju, materi, dan keterbatasan yang relevan dengan rancangan E-Engklek Math Game.

Tabel 1. Sintesis Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian Ini

Kelompok Penelitian	Temuan Utama	Keterbatasan yang Relevan	Respons dalam Rancangan Ini
Profil berpikir kritis siswa SMP (Melgusmayenti & Isnaniah, 2021; Fitri et al., 2023)	Indikator berpikir kritis belum tercapai merata; interpretasi dan analisis dapat menjadi titik lemah	Bersifat diagnostik; pola antarindikator berbeda menurut instrumen dan materi	Melakukan diagnosis lokal, lalu menurunkan kebutuhan desain dari indikator terlemah
GBL dan berpikir kritis (Radityastuti et al., 2023; Hartanto et al., 2024; Fatmawati & Siregar, 2026; Mao et al., 2022)	GBL berpengaruh positif terhadap berpikir kritis	Memakai permainan atau model yang sudah ada; rancangan tugas per indikator tidak diuraikan	Setiap aksi permainan dipetakan ke satu indikator utama beserta bukti responsnya

Kelompok Penelitian	Temuan Utama	Keterbatasan yang Relevan	Respons dalam Rancangan Ini
Engklek dalam matematika (Putri et al., 2021; Ardiansyah et al., 2023; Mubaraq et al., 2025)	Engklek mendukung komunikasi, berpikir kreatif, pemecahan masalah, dan motivasi	Media fisik atau cetak; dominan geometri; berpikir kritis belum dilaporkan	Engklek berbasis web pada materi Bilangan Rasional untuk berpikir kritis
Media matematika berbasis web (Samo et al., 2023; Syafmen & Indri, 2023; Fitria et al., 2024)	Media web berpengaruh positif terhadap hasil belajar dan motivasi	Berfokus pada penyajian materi; tidak menyasar berpikir kritis secara bertahap	Media web memuat langkah interpretasi wajib, petunjuk, dan umpan balik bertahap
HLT dalam pembelajaran matematika (Simon, 1995; Firmasari et al., 2023; Yuliardi & Rosjanuardi, 2021; Thohari et al., 2024; Rizki & Amir, 2025)	HLT menyusun tujuan, aktivitas, dan dugaan proses belajar, lalu direvisi melalui uji coba	Umumnya untuk pembelajaran tatap muka atau lembar kerja, bukan permainan digital	HLT dipakai sebagai kerangka urutan petak, prediksi kesalahan, dan isi umpan balik

Sumber: Disintesis dari literatur yang ditelaah dalam penelitian ini

Berdasarkan literatur yang ditelaah dalam penelitian ini, belum ditemukan rancangan yang memadukan permainan Engklek berbasis web dengan HLT yang memuat prediksi respons siswa untuk melatih berpikir kritis matematis pada materi Bilangan Rasional. Pernyataan ini terbatas pada sumber yang ditelaah dan tidak dimaksudkan sebagai klaim bahwa penelitian serupa sama sekali tidak ada. Kontribusi rancangan ini terletak pada tiga hal. Pertama, HLT dipakai untuk menurunkan urutan petak, tujuan, prediksi kesalahan, dan antisipasi pada setiap tahap permainan. Kedua, interpretasi informasi ditempatkan sebagai langkah wajib sebelum siswa dapat menghitung atau berpindah petak. Ketiga, setiap aksi permainan dipetakan ke satu indikator berpikir kritis utama beserta bukti respons yang dapat diamati.

Mekanisme pedagogis yang dirancang dapat diringkas sebagai berikut. Pada setiap petak, siswa membaca informasi pada kartu tantangan, menyatakan apa yang

diketahui dan ditanyakan, mengidentifikasi konsep Bilangan Rasional yang terlibat, memilih strategi, mengerjakan dan memberikan alasan, memeriksa ketepatan jawaban melalui umpan balik, lalu menyimpulkan hasil pada akhir level. HLT mengatur agar tuntutan tersebut meningkat secara bertahap, dari mengenali bilangan rasional dalam konteks hingga menyelesaikan masalah kontekstual. Sesuai dengan tujuan tersebut, artikel ini bertujuan (1) mendeskripsikan kebutuhan pengembangan media berdasarkan analisis kemampuan awal, kondisi pembelajaran, dan kurikulum; dan (2) menghasilkan rancangan E-Engklek Math Game berbasis HLT. Artikel ini melaporkan tahap Analysis dan Design; kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan produk belum diuji dan menjadi agenda tahap berikutnya.

METODE PENELITIAN

a. Jenis Penelitian dan Model Pengembangan

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (Research and Development) dengan model ADDIE yang terdiri atas tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation (Branch, 2009). ADDIE dipilih karena tahapannya sistematis dan memungkinkan revisi produk berdasarkan hasil validasi serta uji coba. HLT dipadukan ke dalam model ini sebagai kerangka desain. Pada tahap Analysis, hasil tes awal, observasi, wawancara, angket, dan telaah kurikulum dipakai untuk merumuskan tujuan pembelajaran awal dan dugaan kesulitan siswa. Pada tahap Design, HLT menjadi dasar penyusunan urutan petak, aktivitas, prediksi respons, serta petunjuk dan umpan balik. Pada tahap Implementation dan Evaluation, prediksi dalam HLT direncanakan untuk dibandingkan dengan respons siswa yang benar-benar muncul. Tabel 2 membedakan kegiatan yang telah dilaksanakan dan kegiatan yang masih direncanakan.

Tabel 2. Tahapan ADDIE, Aktivitas, Luaran, dan Status Pelaksanaan

Tahap	Tujuan	Aktivitas	Sumber Data/Instrumen	Luaran	Status
<i>Analysis</i>	Mengidentifikasi kemampuan awal, kondisi pembelajaran, dan tuntutan kurikulum	Observasi kelas, wawancara guru, penyebaran angket, tes awal, telaah dokumen kurikulum	Lembar observasi, pedoman wawancara, angket kebutuhan, tes uraian, dokumen CP Fase D	Profil kemampuan awal; kebutuhan fungsional media	Selesai (dilaporkan)

Tahap	Tujuan	Aktivitas	Sumber Data/Instrumen	Luaran	Status
<i>Design</i>	Menerjemahkan kebutuhan menjadi rancangan produk dan instrumen	Menyusun spesifikasi, pemetaan permainan-materi-indikator, HLT, <i>storyboard</i> , butir soal, dan instrumen	Hasil tahap <i>Analysis</i> ; literatur HLT dan GBL	Spesifikasi, Tabel 7-10, Gambar 2, draf instrumen	Selesai (dilaporkan)
<i>Development</i>	Merealisasikan rancangan menjadi produk web dan memvalidasi sinya	Pembuatan produk; validasi ahli materi, media, instrumen; revisi	Lembar validasi ahli materi, media, dan instrumen	Prototipe tervalidasi; instrumen tervalidasi	Rencana
<i>Implementation</i>	Menguji kepraktisan dan respons belajar siswa	Validasi praktisi; uji coba di kelas VII; pencatatan respons siswa terhadap HLT	Lembar validasi praktisi, angket respons siswa, lembar observasi, <i>pretest-posttest</i>	Data kepraktisan, respons aktual, skor tes	Rencana
<i>Evaluation</i>	Menilai kualitas produk dan merevisi lintasan belajar	Evaluasi formatif setiap tahap; analisis N-Gain; analisis retrospektif HLT	Seluruh data tahap sebelumnya	Produk final; HLT hasil revisi	Rencana

Sumber: Diadaptasi dari Melgusmayenti dan Isnaniah (2021)

b. Lokasi, Subjek, dan Sumber Data

Penelitian dilaksanakan di SMP Nurul Khoir Jambi. Subjek tahap *Analysis* adalah guru matematika kelas VII dan 25 siswa kelas VII. Data diperoleh dari observasi pembelajaran, wawancara dengan guru, angket analisis kebutuhan siswa, tes awal kemampuan berpikir kritis matematis, serta dokumen kurikulum yang meliputi Capaian Pembelajaran Fase D, tujuan pembelajaran, dan alur tujuan pembelajaran (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi [Kemendikbudristek], 2022). Siswa yang dianalisis adalah 25 siswa kelas VII yang mengikuti tes awal, sedangkan guru matematika kelas tersebut menjadi narasumber wawancara.

c. Prosedur dan Instrumen Tahap *Analysis*

Observasi awal dilakukan pada pembelajaran matematika di kelas VII untuk mencatat keterlibatan siswa dalam memahami materi, menjawab pertanyaan, dan mengerjakan latihan, serta respons siswa ketika diberi permasalahan yang menuntut pemahaman informasi, pemilihan strategi, pemberian alasan, dan penarikan kesimpulan. Wawancara dengan guru matematika kelas VII menggali keragaman kemampuan siswa dalam menyelesaikan masalah, kebiasaan siswa ketika menghadapi soal yang berbeda dari contoh, dan teknologi yang telah dipakai dalam pembelajaran. Angket analisis kebutuhan siswa memuat tiga aspek, yaitu penggunaan media pembelajaran, pengalaman menggunakan media berbasis web dan permainan, serta kebutuhan terhadap media pembelajaran yang interaktif dan menarik. Selain itu, dilakukan telaah kurikulum (CP, TP, dan ATP) serta analisis lingkungan sekolah yang meliputi ketersediaan perangkat, jaringan internet, dan kesiapan guru serta siswa memanfaatkan media berbasis web. Hasil seluruh instrumen dirangkum menurut aspek kemampuan siswa, praktik pembelajaran, dan harapan terhadap media.

Tes awal berbentuk soal uraian kontekstual tentang operasi bilangan, misalnya perubahan suhu yang diselesaikan dengan operasi bilangan bulat, dan dirancang untuk mengungkap empat indikator berpikir kritis matematis. Jawaban setiap siswa dinilai pada keempat indikator tersebut menggunakan pedoman penskoran yang diadaptasi dari Melgusmayenti dan Isnaniah (2021). Setiap indikator diberi skor 0 sampai 4 sehingga skor maksimum seorang siswa adalah 16. Definisi operasional indikator disajikan pada Tabel 3, sedangkan pedoman penskoran disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Definisi Operasional Indikator Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Indikator	Definisi Operasional	Bukti pada Jawaban Siswa
Interpretasi	Mengidentifikasi informasi yang relevan, memahami makna representasi bilangan, dan menjelaskan hal yang diketahui serta ditanyakan	Menuliskan apa yang diketahui dan ditanyakan dengan tepat

Indikator	Definisi Operasional	Bukti pada Jawaban Siswa
Analisis	Mengidentifikasi hubungan antarinformasi dan membangun model atau strategi matematis	Membuat model matematika atau menuliskan hubungan antarinformasi dan operasi yang dipilih
Evaluasi	Menilai ketepatan strategi, prosedur, atau hasil dengan alasan matematis	Menggunakan strategi yang tepat, menyelesaikan dengan benar, dan memeriksa hasil
Inferensi	Menyusun kesimpulan yang logis berdasarkan hasil analisis dan perhitungan	Menuliskan kesimpulan yang sesuai dengan hasil dan konteks masalah

Sumber: Diadaptasi dari Facione (2015) dan Melgusmayenti dan Isnaniah (2021)

Tabel 4. Pedoman Penskoran Kemampuan Berpikir Kritis Matematis (Skala 0–4)

Indikator	Skor 0	Skor 1–2	Skor 3	Skor 4
Interpretasi	Tidak menuliskan yang diketahui dan ditanyakan	1: Menuliskan yang diketahui dan ditanyakan dengan tidak tepat; 2: Menuliskan yang diketahui saja atau yang ditanyakan saja dengan tepat	Menuliskan yang diketahui dan ditanyakan dengan tepat, tetapi kurang lengkap	Menuliskan yang diketahui dan ditanyakan dengan tepat dan lengkap

Indikator	Skor 0	Skor 1-2	Skor 3	Skor 4
Analisis	Tidak membuat model matematika	1: Membuat model matematika, tetapi tidak tepat; 2: Membuat model matematika dengan tepat tanpa penjelasan	Membuat model matematika dengan tepat, tetapi penjelasannya keliru	Membuat model matematika dengan tepat disertai penjelasan yang benar dan lengkap
Evaluasi	Tidak menggunakan strategi penyelesaian	1: Strategi tidak tepat dan tidak lengkap; 2: Strategi tepat tetapi tidak lengkap, atau lengkap tetapi tidak tepat	Strategi tepat dan lengkap, tetapi terdapat kesalahan perhitungan atau penjelasan	Strategi tepat dan lengkap serta perhitungan dan penjelasan benar
Inferensi	Tidak membuat kesimpulan	1: Kesimpulan tidak tepat dan tidak sesuai konteks; 2: Kesimpulan tidak tepat, tetapi sesuai konteks	Kesimpulan tepat, tetapi tidak lengkap	Kesimpulan tepat, lengkap, dan sesuai konteks

Sumber: Diadaptasi dari Melgusmayenti dan Isnaniah (2021)

d. Teknik Analisis Data Tahap *Analysis*

Skor tes awal dianalisis secara statistik deskriptif. Persentase capaian setiap indikator dihitung dengan membagi jumlah skor seluruh siswa pada indikator tersebut dengan skor maksimum indikator untuk seluruh siswa, yaitu $n \times 4$.

$$P_i = \frac{\sum S_i}{n \times 4} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: P_i adalah persentase capaian indikator ke- i , $\sum S_i$ adalah jumlah skor seluruh siswa pada indikator ke- i , dan n adalah jumlah siswa ($n = 25$), sehingga penyebutnya 100. Persentase keseluruhan dihitung dengan cara yang sama terhadap skor maksimum total, yaitu $n \times 16 = 400$.

$$P = \frac{\sum S}{n \times 16} \times 100\% \quad (2)$$

Kategori capaian ditetapkan menggunakan batas yang dipakai Melgusmayenti dan Isnaniah (2021), yaitu sangat tinggi ($P \geq 81,25\%$), tinggi ($71,50\% \leq P < 81,25\%$), sedang ($62,50\% \leq P < 71,50\%$), rendah ($43,75\% \leq P < 62,50\%$), dan sangat rendah ($P < 43,75\%$). Acuan yang sama dipakai agar profil siswa dapat dibandingkan secara langsung dengan penelitian tersebut. Data observasi, wawancara, dan angket dianalisis secara kualitatif melalui reduksi data, pengelompokan temuan menurut aspek kemampuan siswa, praktik pembelajaran, dan harapan terhadap media, lalu penarikan kebutuhan fungsional media. Setiap kebutuhan fungsional kemudian ditelusuri ke keputusan desain (Tabel 6).

e. Prosedur Tahap Design

Tahap *Design* dilaksanakan dalam lima langkah yang saling berurutan. Pertama, kebutuhan fungsional dari tahap *Analysis* diterjemahkan menjadi spesifikasi produk. Kedua, unsur permainan Engklek dipetakan ke konsep Bilangan Rasional dan ke satu indikator berpikir kritis utama, lengkap dengan bukti respons yang diamati. Ketiga, HLT disusun dengan menetapkan tujuan setiap tahap berdasarkan Capaian Pembelajaran Fase D, mengurutkan tahap menurut prasyarat konsep, merumuskan prediksi respons dan kesalahan siswa beserta dugaan penyebabnya, lalu menentukan petunjuk dan umpan balik untuk setiap prediksi kesalahan. Keempat, alur navigasi dan tampilan dirancang dalam *storyboard* sembilan tampilan. Kelima, instrumen untuk tahap berikutnya disusun berdasarkan indikator berpikir kritis dan aspek kualitas media.

f. Rencana Pengujian Produk pada Tahap Berikutnya

Bagian ini merupakan rencana dan belum dilaksanakan dalam artikel ini. Produk hasil rancangan akan dikembangkan, kemudian divalidasi oleh ahli materi, ahli media, ahli instrumen, dan guru matematika sebagai praktisi. Ahli instrumen juga akan menelaah lembar observasi, angket respons siswa, dan tes berpikir kritis sebelum digunakan. Kevalidan dan kepraktisan akan dianalisis dengan persentase skor skala Likert lima tingkat (1 = sangat kurang baik hingga 5 = sangat baik) terhadap skor maksimum. Kevalidan ditafsirkan menggunakan kriteria validasi *game* dari Fitria et al. (2024): 90–100% sangat valid, 80–89% valid, 70–79% cukup valid, 60–69% kurang valid, dan di bawah 60% tidak valid. Produk dinyatakan valid apabila memperoleh sekurang-kurangnya 80%; di bawah nilai tersebut produk direvisi sesuai saran validator.

$$V = \frac{\sum \text{skor yang diperoleh}}{\sum \text{skor maksimum}} \times 100\% \quad (3)$$

Kepraktisan dihitung terpisah untuk setiap sumber data dengan rumus yang sama, yaitu terhadap skor maksimum 110 untuk lembar validasi praktisi (22 butir $\times$

5), 2.625 untuk angket respons siswa (21 butir $\times$ 5 $\times$ 25 siswa), dan 115 untuk lembar observasi aktivitas siswa (23 butir $\times$ 5). Persentase ditafsirkan dalam lima kategori: 81–100% sangat praktis, 61–80% praktis, 41–60% cukup praktis, 21–40% tidak praktis, dan 0–20% sangat tidak praktis. Produk dinyatakan praktis apabila setiap sumber data mencapai sekurang-kurangnya 61%. Keefektifan akan dianalisis dengan *normalized gain* dari skor *pretest* dan *posttest* siswa (Hake, 1998).

$$g = \frac{S_{\text{posttest}} - S_{\text{pretest}}}{S_{\text{maksimum}} - S_{\text{pretest}}} \quad (4)$$

Kategori *normalized gain* adalah tinggi untuk $g \geq 0,70$, sedang untuk $0,30 \leq g < 0,70$, dan rendah untuk $g < 0,30$ (Hake, 1998). Uji coba direncanakan dalam bentuk uji kelompok kecil yang melibatkan 25 siswa kelas VII dengan kemampuan tinggi, sedang, dan rendah berdasarkan rekomendasi guru. Karena uji coba tersebut dilakukan tanpa kelompok pembanding, nilai g akan ditafsirkan sebagai gambaran peningkatan, bukan bukti hubungan sebab-akibat.

Respons siswa selama uji coba akan dicatat melalui jawaban tertulis pada setiap petak, catatan observasi, dan rekap jawaban pada media. Setiap respons akan dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu respons yang sesuai dengan prediksi benar, kesalahan yang telah diprediksi, dan respons yang tidak terprediksi. Analisis retrospektif terhadap ketiga kelompok tersebut akan dipakai untuk merevisi urutan aktivitas, isi tantangan, petunjuk, dan umpan balik, sesuai siklus dugaan dan revisi HLT (Simon, 1995; Yuliardi & Rosjanuardi, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Tahap Analysis

Kemampuan awal berpikir kritis matematis hasil tes awal 25 siswa disajikan pada Tabel 5. Jumlah skor setiap indikator diperoleh dari rata-rata skor dikalikan jumlah siswa, sedangkan persentase dihitung dengan persamaan (1) dan (2).

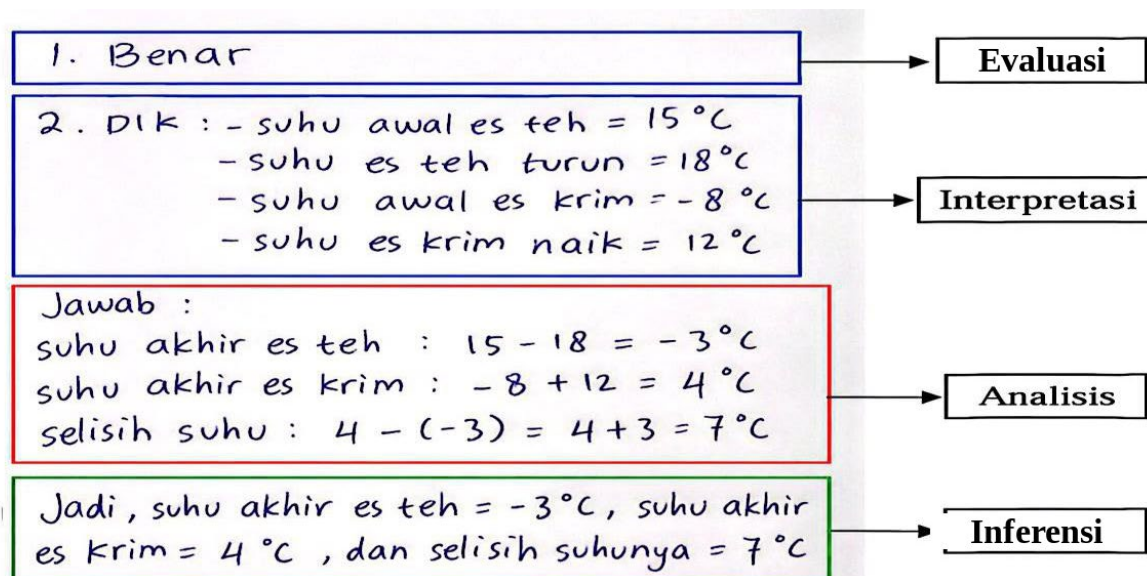
Tabel 5. Hasil Tes Awal Kemampuan Berpikir Kritis Matematis (n = 25)

Indikator	Jumlah Skor Diperoleh	Skor Maksimum	Rata-rata (Maks. 4)	Persentase
Interpretasi	3	100	0,12	3,0%
Analisis	45	100	1,80	45,0%
Evaluasi	41	100	1,64	41,0%
Inferensi	37	100	1,48	37,0%
Keseluruhan	126	400	5,04 (maks. 16)	31,5%

Sumber: Data penelitian (tes awal); jumlah skor dihitung dari rata-rata $\times$ 25

Rata-rata kemampuan berpikir kritis matematis siswa sebesar 31,50% dari skor maksimum dan termasuk kategori sangat rendah. Keempat indikator juga berada di bawah batas 43,75% sehingga seluruhnya termasuk kategori sangat rendah, dan tidak ada indikator yang mencapai setengah dari skor maksimum. Analisis memperoleh capaian tertinggi (45,0%), disusul evaluasi (41,0%) dan inferensi (37,0%). Interpretasi berada jauh di bawah ketiganya dengan capaian 3,0%. Jumlah skor interpretasi seluruh kelas hanya 3 dari 100 poin. Karena skor setiap siswa berupa bilangan bulat 0-4, paling banyak tiga siswa memperoleh skor di atas 0, sehingga sekurang-kurangnya 22 dari 25 siswa (88%) memperoleh skor 0 pada indikator interpretasi. Menurut pedoman penskoran (Tabel 4), skor 0 berarti siswa tidak menuliskan yang diketahui dan ditanyakan. Dengan demikian, sebagian besar siswa langsung masuk ke perhitungan tanpa menyatakan informasi masalah secara tertulis.

Gambar 1 memperlihatkan contoh jawaban salah satu siswa pada tes awal. Soal meminta siswa menentukan suhu akhir es teh dan es krim, menghitung selisihnya, dan memeriksa kebenaran sebuah pernyataan. Siswa ini menuliskan informasi yang diketahui (suhu awal dan perubahan suhu kedua benda), menghitung suhu akhir dan selisih suhu dengan operasi bilangan bulat, menilai pernyataan sebagai benar, dan menuliskan kesimpulan. Jawaban ini termasuk sedikit jawaban yang memuat informasi diketahui, mengingat jumlah skor interpretasi seluruh kelas hanya 3 poin. Meskipun demikian, siswa tersebut tidak menuliskan apa yang ditanyakan, sehingga menurut pedoman pada Tabel 4 interpretasinya belum lengkap. Pola ini memperkuat kebutuhan langkah yang meminta siswa menyatakan informasi yang diketahui sekaligus yang ditanyakan.



Gambar 1. Contoh Jawaban Siswa pada Tes Awal Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Sumber: Data penelitian (tes awal)

Temuan ini perlu ditafsirkan dengan hati-hati. Skor interpretasi mencatat bukti tertulis tentang informasi yang diketahui dan ditanyakan. Skor nol dapat berarti siswa tidak memahami informasi, tetapi dapat juga berarti siswa memahaminya tanpa menuliskannya. Fakta bahwa capaian analisis lebih tinggi daripada interpretasi

mendukung tafsiran kedua bagi sebagian siswa: mereka mampu memilih operasi, tetapi tidak terbiasa menyatakan informasi masalah secara eksplisit. Kedua kemungkinan tersebut sama-sama menunjukkan perlunya aktivitas yang mewajibkan siswa menyatakan informasi sebelum menghitung.

b. Praktik Pembelajaran dan Kebutuhan Siswa

Hasil observasi menunjukkan bahwa pembelajaran telah melibatkan siswa dalam memahami materi, menjawab pertanyaan, dan mengerjakan latihan dari guru. Namun, ketika diberi permasalahan yang menuntut pemahaman informasi, pemilihan strategi, pemberian alasan, dan penarikan kesimpulan, masih ditemukan siswa yang cenderung mengikuti contoh atau prosedur dari guru. Kesempatan siswa untuk mengemukakan alasan atas langkah penyelesaian, memeriksa kembali ketepatan jawaban, dan menuliskan kesimpulan juga masih terbatas. Pembelajaran materi Bilangan Rasional masih bertumpu pada buku paket dan LKPD. Hasil wawancara menunjukkan bahwa kemampuan siswa beragam: sebagian siswa cenderung mengikuti contoh dan langkah penyelesaian yang diberikan, terutama pada permasalahan yang membutuhkan strategi berbeda, sedangkan sebagian lainnya sudah mencoba cara penyelesaian yang berbeda, tetapi kemampuan itu belum merata. Guru juga menyampaikan bahwa siswa masih memerlukan arahan ketika menghadapi soal yang tidak serupa dengan contoh. Dari sisi fasilitas, sekolah telah memiliki smartboard dan siswa sudah mengenal Quizizz, tetapi teknologi tersebut lebih sering dipakai untuk menyajikan materi dan kuis daripada untuk aktivitas yang menuntut penalaran. Temuan observasi dan keterangan guru saling menguatkan: keduanya menunjukkan bahwa kesulitan muncul terutama ketika siswa harus menafsirkan soal yang tidak serupa dengan contoh, bukan ketika menjalankan prosedur yang sudah dicontohkan. Pola ini sejalan dengan profil tes awal, yaitu capaian analisis lebih tinggi daripada interpretasi.

Angket kebutuhan menunjukkan bahwa penggunaan media dalam pembelajaran matematika belum sepenuhnya bervariasi. Sebagian siswa menyatakan bahwa guru telah menggunakan media yang bervariasi, dan sebagian siswa telah memiliki pengalaman belajar dengan media berbasis web dan permainan, sehingga media digital bukan hal yang sepenuhnya baru bagi mereka. Pada aspek kebutuhan media, siswa menunjukkan ketertarikan pada pembelajaran matematika yang menggunakan permainan, media berbasis web, dan permainan tradisional yang dikembangkan menjadi game digital. Siswa juga mengharapkan media yang dilengkapi gambar, animasi, dan permainan yang menarik serta membantu mereka memahami materi dengan lebih mudah. Hasil angket dipakai sebagai dasar penentuan karakter tampilan media, sedangkan kebutuhan pedagogis terutama diturunkan dari hasil tes awal, observasi, dan wawancara.

Telaah kurikulum menempatkan Bilangan Rasional dalam elemen Bilangan pada Fase D. Siswa kelas VII diharapkan mampu membaca, menulis, membandingkan, dan mengurutkan bilangan rasional, melakukan operasi hitung, serta menyelesaikan masalah kontekstual (Kemendikbudristek, 2022). Urutan capaian tersebut menjadi dasar urutan tahap dalam HLT, mulai dari mengenali bentuk bilangan hingga menyelesaikan soal cerita.

Dari Temuan Analisis ke Kebutuhan Fungsional dan Keputusan Desain

Tabel 6 memisahkan temuan empiris, kebutuhan fungsional yang ditafsirkan dari temuan tersebut, dan keputusan desain yang diambil. Pemisahan ini menunjukkan bahwa setiap fitur media memiliki dasar dari data tahap Analysis.

Tabel 6. Penelusuran dari Temuan Analisis ke Keputusan Desain

Temuan Empiris	Kebutuhan Fungsional	Keputusan Desain
Interpretasi 3,0%; sekurang-kurangnya 22 dari 25 siswa memperoleh skor 0	Siswa harus menyatakan informasi yang diketahui dan ditanyakan sebelum menghitung	Setiap petak diawali langkah interpretasi wajib; kolom jawaban baru aktif setelah langkah ini diisi
Analisis 45,0%, tertinggi tetapi di bawah setengah skor maksimum	Siswa perlu memilih dan menyatakan strategi, bukan hanya menghitung	Tantangan meminta siswa memilih operasi atau menyamakan bentuk bilangan sebelum menjawab
Evaluasi 41,0%	Siswa perlu memeriksa ketepatan langkah dan hasil	Umpan balik berisi pembahasan langkah demi langkah dan ajakan memeriksa ulang jawaban
Inferensi 37,0%	Siswa perlu merumuskan kesimpulan sesuai konteks	Setiap level ditutup dengan tugas menuliskan atau memilih kesimpulan
Siswa mengikuti contoh guru, memerlukan arahan untuk soal tidak rutin, dan jarang diberi kesempatan memberi alasan serta memeriksa jawaban	Soal perlu bervariasi, disertai bantuan bertahap, dan meminta alasan	Tantangan tidak identik dengan contoh; fitur petunjuk bertahap; isian alasan pada setiap petak
Pembelajaran Bilangan Rasional bertumpu pada buku paket dan LKPD	Diperlukan pengalaman belajar yang lebih interaktif	Materi, permainan, latihan, dan umpan balik disatukan dalam satu media web

Temuan Empiris	Kebutuhan Fungsional	Keputusan Desain
Sekolah memiliki <i>smartboard</i> ; siswa mengenal Quizizz dan tertarik pada permainan tradisional digital	Media dapat diakses melalui peramban dan ditampilkan di kelas	Rancangan berbasis web dengan gambar, animasi, dan tampilan bertema Engklek
CP Fase D: membaca, membandingkan, mengurutkan, operasi, masalah kontekstual	Materi perlu disajikan bertahap sesuai prasyarat	Enam tahap HLT disusun mengikuti urutan prasyarat tersebut

Sumber: Analisis data penelitian

Dari keseluruhan temuan, tahap Analysis merumuskan empat kebutuhan utama: media dapat diakses melalui peramban dan ditampilkan di smartboard, memuat unsur permainan yang akrab bagi siswa, menyajikan materi Bilangan Rasional secara bertahap, dan mewajibkan siswa menafsirkan informasi sebelum menghitung. Kebutuhan terakhir paling menentukan desain karena langsung menyasar indikator terlemah.

c. Hasil Tahap Design

Spesifikasi Produk E-Engklek Math Game dirancang sebagai media berbasis web berbahasa Indonesia yang ditargetkan dapat dibuka melalui peramban pada laptop, komputer, tablet, telepon pintar, dan smartboard tanpa instalasi. Kompatibilitas tersebut merupakan target desain dan akan diperiksa pada tahap Development. Media dirancang untuk digunakan guru dalam pembelajaran klasikal maupun oleh siswa secara mandiri. Petak Engklek berfungsi sebagai lintasan permainan, dan setiap petak memuat tantangan Bilangan Rasional yang harus diselesaikan sebelum siswa dapat melompat ke petak berikutnya. Rancangan fitur mencakup gambar, animasi, tombol navigasi, fitur petunjuk, umpan balik atas jawaban, dan rekap hasil belajar. Pada tahap yang dilaporkan dalam artikel ini, produk masih berupa rancangan, yaitu spesifikasi, pemetaan, HLT, dan storyboard. Pembuatan aplikasi web dilakukan pada tahap Development.

Alur aktivitas pada setiap petak dirancang mengikuti urutan yang sama sehingga keempat indikator dilatih secara berulang. Siswa (1) membaca kartu tantangan; (2) mengisi atau memilih informasi yang diketahui dan ditanyakan sebagai langkah interpretasi wajib; (3) memilih operasi atau strategi, misalnya menyamakan bentuk bilangan; (4) menuliskan jawaban beserta alasan singkat; dan (5) menerima umpan balik yang meminta siswa memeriksa langkahnya. Setelah seluruh petak dalam satu level selesai, siswa (6) menuliskan atau memilih kesimpulan. Jika langkah interpretasi belum tepat, media menampilkan pertanyaan pemantik, seperti "Bilangan apa saja yang ada pada soal?" dan "Apa yang diminta soal?", sebelum siswa dapat memilih operasi. Fitur ini disiapkan karena aturan menjawab soal saja belum menjamin siswa melakukan interpretasi; siswa tetap dapat menebak atau langsung menghitung.

Sebagai contoh ilustratif rancangan, sebuah petak pada tahap masalah kontekstual dapat memuat soal: "Ibu memiliki $\frac{3}{4}$ kg gula dan memakai 0,5 kg untuk membuat kue. Berapa sisa gula?" Pada langkah interpretasi, siswa menyatakan bahwa yang diketahui adalah $\frac{3}{4}$ kg dan 0,5 kg, sedangkan yang ditanyakan adalah sisa gula. Pada langkah analisis, siswa memilih pengurangan dan menyamakan bentuk $0,5 = \frac{1}{2} = \frac{2}{4}$. Pada langkah evaluasi, siswa memperoleh $\frac{3}{4} - \frac{2}{4} = \frac{1}{4}$ dan memeriksa bahwa $\frac{1}{4} + \frac{2}{4} = \frac{3}{4}$. Pada langkah inferensi, siswa menyimpulkan bahwa sisa gula adalah $\frac{1}{4}$ kg. Contoh ini bersifat ilustratif untuk menjelaskan alur dan belum diuji kepada siswa.

Pemetaan unsur permainan, materi, dan indikator berpikir kritis pada rancangan awal, beberapa unsur permainan dipetakan ke lebih dari satu indikator sehingga fokus penilaiannya kurang tegas. Pada rancangan ini, setiap unsur permainan ditetapkan memiliki satu indikator utama, beserta bukti respons dan kriteria yang dipakai untuk menilainya (Tabel 7). Indikator lain dapat ikut terlibat, tetapi tidak menjadi fokus penilaian pada unsur tersebut.

Tabel 7. Pemetaan Unsur Permainan, Konsep Bilangan Rasional, dan Indikator Berpikir Kritis

Unsur Permainan	Aktivitas Siswa	Konsep Bilangan Rasional	Indikator Utama	Bukti Respons	Kriteria Ketercapaian
Memilih petak dan membaca kartu tantangan	Mengidentifikasi bilangan dan bentuk representasinya	Mengenali bilangan rasional (pecahan, desimal, persen)	Interpretasi	Menyebutkan bilangan dan bentuknya	Bilangan dan bentuk disebutkan dengan tepat
Langkah interpretasi wajib	Menyatakan informasi yang diketahui dan ditanyakan	Seluruh konsep sesuai tahap	Interpretasi	Isian atau pilihan "diketahui-ditanya"	Informasi lengkap dan relevan
Menyelesaikan tantangan	Memilih operasi atau strategi, termasuk menyamakan bentuk	Membandingkan, mengurutkan, dan operasi hitung	Analisis	Operasi atau model yang dipilih	Strategi sesuai dengan hubungan antarinformasi

Unsur Permainan	Aktivitas Siswa	Konsep Bilangan Rasional	Indikator Utama	Bukti Respons	Kriteria Ketercapaian
Menerima umpan balik dan memeriksa jawaban	Memeriksa langkah dan memberi alasan	Ketepatan operasi bilangan rasional	Evaluasi	Alasan atau perbaikan jawaban	Alasan matematis benar; kesalahan diperbaiki
Menutup level	Merumuskan kesimpulan dari hasil penyelesaian	Masalah kontekstual bilangan rasional	Inferensi	Kalimat kesimpulan	Kesimpulan sesuai hasil dan konteks

Sumber: Rancangan peneliti berdasarkan Capaian Pembelajaran Fase D dan indikator Facione (2015)

e. Hypothetical Learning Trajectory

HLT disusun dalam enam tahap. Urutan tahap mengikuti prasyarat konsep: siswa perlu mengenali bilangan rasional dalam konteks sebelum memahami bentuk-bentuknya, perlu menguasai perubahan bentuk sebelum membandingkan dan mengurutkan, perlu menguasai operasi sebelum menyelesaikan masalah kontekstual, dan perlu menyelesaikan masalah sebelum mengevaluasi serta menyimpulkan. Oleh karena itu, keenam tahap dirancang sebagai urutan wajib bagi seluruh siswa. Level berikutnya terbuka setelah tantangan pada level sebelumnya selesai. Penyesuaian terhadap respons siswa tidak dilakukan dengan mengubah urutan tahap, tetapi melalui tingkat bantuan, yaitu pertanyaan pemantik, petunjuk, dan umpan balik yang muncul sesuai jenis kesalahan.

Tabel 8 memuat tujuan, aktivitas, dan indikator utama setiap tahap, sedangkan Tabel 9 memuat hipotesis proses belajar, yaitu prediksi respons, prediksi kesalahan beserta dugaan penyebabnya, dan antisipasi yang disiapkan. Prediksi kesalahan dirumuskan dari temuan tes awal dan karakteristik materi, lalu dipakai sebagai dasar isi petunjuk dan umpan balik.

Tabel 8. Tujuan, Aktivitas, dan Indikator Utama pada Enam Tahap HLT

Tahap	Tujuan Pembelajaran	Aktivitas dalam E-Englek	Indikator Utama
1. Orientasi dan pengenalan	Mengenali konteks sehari-hari yang berkaitan dengan bilangan rasional	Menyimak ilustrasi kontekstual, mengamati gambar atau situasi nyata, menjawab pertanyaan pemantik	Interpretasi

Tahap	Tujuan Pembelajaran	Aktivitas dalam E-Engklek	Indikator Utama
2. Memahami konsep	Memahami pengertian bilangan rasional dan bentuknya (pecahan, desimal, persen)	Mempelajari menu Materi, menyelesaikan misi pertama, memilah contoh dan bukan contoh	Interpretasi, analisis
3. Membandingkan dan mengurutkan	Membandingkan dan mengurutkan bilangan rasional dalam berbagai representasi	Mengurutkan bilangan dari terkecil ke terbesar atau sebaliknya pada petak	Analisis
4. Operasi hitung	Melakukan penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian bilangan rasional	Mengerjakan soal hitung dan soal cerita singkat dengan fitur petunjuk	Analisis, evaluasi
5. Masalah kontekstual	Menyelesaikan masalah kontekstual dengan strategi yang tepat	Misi soal cerita: menyatakan diketahui-ditanyakan, memilih operasi, menuliskan langkah	Interpretasi, analisis, evaluasi
6. Evaluasi dan refleksi	Mengevaluasi penyelesaian dan menarik kesimpulan tentang konsep bilangan rasional	Kuis akhir, melihat capaian dan umpan balik, menuliskan kesimpulan	Evaluasi, inferensi

Sumber: Rancangan peneliti

Tabel 9. Hipotesis Proses Belajar dan Antisipasi pada HLT E-Engklek Math Game

Tahap	Prediksi Respons Siswa	Prediksi Kesalahan dan Dugaan Penyebab	Antisipasi (Petunjuk/Umpan Balik)
1	Mengaitkan masalah dengan pengalaman sehari-hari	Sulit mengidentifikasi bilangan rasional dalam konteks nyata; siswa terbiasa dengan soal tanpa konteks	Pertanyaan pemantik tentang bilangan yang muncul dan maknanya dalam situasi
2	Menjelaskan pengertian dengan bahasa sendiri	Keliru membedakan bilangan rasional dan irasional; siswa menilai dari tampilan bilangan, bukan dari kemungkinan ditulis sebagai a/b	Contoh dan bukan contoh; tantangan menuliskan bilangan dalam bentuk a/b
3	Mengubah bentuk bilangan bila perlu sebelum membandingkan	Kesulitan ketika bentuk bilangan berbeda; siswa membandingkan berdasarkan tampilan, misalnya menganggap desimal dengan angka lebih banyak lebih besar	Petunjuk untuk menyamakan bentuk; pembahasan konversi langkah demi langkah
4	Memilih strategi operasi yang sesuai	Salah menentukan tanda atau hasil operasi; aturan tanda dan prosedur pecahan belum kuat	Petunjuk bertahap; pembahasan setiap langkah operasi

Tahap	Prediksi Respons Siswa	Prediksi Kesalahan dan Dugaan Penyebab	Antisipasi (Petunjuk/Umpan Balik)
5	Menentukan strategi yang tepat dari informasi soal	Sulit menghubungkan informasi dengan operasi; siswa langsung mengoperasikan bilangan tanpa menguraikan masalah	Langkah interpretasi wajib; pertanyaan pemantik sebelum memilih operasi
6	Memperbaiki kesalahan dan menarik kesimpulan konsep	Kesimpulan hanya mengulang angka tanpa konteks; siswa belum terbiasa menyimpulkan	Kerangka kalimat kesimpulan dan umpan balik atas kesimpulan

Sumber: Rancangan peneliti; prediksi merupakan hipotesis desain yang belum dibandingkan dengan respons aktual siswa



Gambar 2. Storyboard Sembilan Tampilan E-Engklek Math Game
Sumber: Rancangan peneliti

Prediksi pada Tabel 9 diperlakukan sebagai hipotesis desain. Prediksi tersebut akan dibandingkan dengan respons siswa pada tahap *Implementation* menggunakan kategori yang dijelaskan pada bagian metode, lalu direvisi apabila respons aktual berbeda.

f. Storyboard

Storyboard terdiri atas sembilan tampilan bernomor yang dihubungkan oleh panah navigasi (Gambar 2). Alurnya bergerak dari pengenalan menuju permainan, kemudian ke latihan, umpan balik, dan refleksi. Fungsi setiap tampilan dan kaitannya dengan tahap HLT dirangkum pada Tabel 10. Angka yang tampak pada tampilan hasil belajar, seperti skor akhir dan jumlah jawaban benar, merupakan contoh isi tampilan dan bukan data penelitian.

Tabel 10. Fungsi Setiap Tampilan *Storyboard* dan Kaitannya dengan HLT

Tampilan	Fungsi dalam Alur Pembelajaran	Kaitan dengan HLT
1. Halaman pembuka	Memperkenalkan permainan dan tema Engklek	Tahap 1 (orientasi)
2. Petunjuk penggunaan	Menjelaskan aturan, termasuk kewajiban menjawab sebelum melompat	Seluruh tahap
3. Menu utama	Mengarahkan ke tujuan, materi, permainan, kuis, dan hasil belajar	Navigasi antartahap
4. Tujuan pembelajaran	Menampilkan lima tujuan pembelajaran	Tujuan tahap 1–5
5. Materi	Menyajikan pengertian, bentuk, membandingkan, operasi, dan masalah kontekstual	Tahap 2–5
6. Permainan Engklek digital	Menyajikan petak bernomor; setiap petak memuat tantangan dengan langkah interpretasi wajib	Tahap 1–5 (inti lintasan)
7. Kuis/latihan	Memberikan soal pilihan ganda dan isian untuk penguatan	Tahap 3–6
8. Umpan balik	Menampilkan pembahasan langkah demi langkah, misalnya $0,75 = 75/100 = 3/4$	Antisipasi kesalahan (Tabel 9)
9. Hasil belajar	Merekap capaian dan mengajak siswa merefleksikan hasil	Tahap 6 (evaluasi dan refleksi)

Sumber: Rancangan peneliti

g. Instrumen Penilaian Produk

Tahap *Design* juga menghasilkan draf instrumen untuk tahap berikutnya (Tabel 11). Seluruh instrumen masih berstatus rancangan dan belum divalidasi. Sebelum digunakan, instrumen akan ditelaah oleh ahli instrumen dari segi kesesuaian butir dengan indikator, kejelasan bahasa, dan kesesuaian tingkat kesulitan bagi siswa kelas VII, lalu direvisi berdasarkan masukan tersebut.

Tabel 11. Rancangan Instrumen untuk Tahap *Development* dan *Implementation*

Instrumen	Butir	Aspek yang Dinilai	Skala	Status
Lembar validasi ahli media	20	Tampilan media, kualitas media, interaktivitas, kesesuaian dengan HLT, kemanfaatan media	Likert 1-5	Dirancang
Lembar validasi ahli materi	19	Kesesuaian materi, ketepatan dan kebenaran materi, kesesuaian dengan HLT, kemampuan berpikir kritis matematis, penyajian materi	Likert 1-5	Dirancang
Lembar validasi ahli instrumen	18	Kesesuaian instrumen dengan tujuan penelitian, kesesuaian butir, kejelasan bahasa, kejelasan petunjuk pengisian, kelengkapan, kelayakan instrumen	Likert 1-5	Dirancang
Lembar validasi praktisi	22	Tampilan media, komponen media, materi pembelajaran, kebahasaan, kepraktisan dan kemanfaatan	Likert 1-5	Dirancang

Instrumen	Butir	Aspek yang Dinilai	Skala	Status
Angket respons siswa	21	Penyajian materi, desain tampilan, pengoperasian, motivasi belajar, aktivitas berpikir kritis (empat indikator), kepuasan pengguna	Likert 1–5	Dirancang
Lembar observasi aktivitas siswa	23	Aktivitas siswa pada kegiatan pendahuluan (5 butir), inti (13 butir), dan penutup (5 butir), termasuk bermain secara bergiliran melalui <i>smartboard</i>	Likert 1–5	Dirancang
Tes uraian berpikir kritis	4	Satu soal Bilangan Rasional untuk setiap indikator (soal 1 interpretasi, 2 analisis, 3 evaluasi, 4 inferensi)	0–4 per indikator	Dirancang

Sumber: Rancangan peneliti

Tes keefektifan saat ini memuat satu soal untuk setiap indikator. Jumlah tersebut belum tentu cukup untuk mewakili indikator yang mencakup lebih dari satu perilaku berpikir dan dapat menghasilkan pengukuran yang kurang stabil. Karena itu, penambahan butir untuk setiap indikator dipertimbangkan pada tahap Development; apabila tetap satu butir, hal tersebut akan dinyatakan sebagai keterbatasan pengukuran.

h. Pembahasan

Hasil tahap Analysis menempatkan interpretasi sebagai sasaran utama desain. Kesamaan dengan temuan Melgusmayenti dan Isnaniah (2021) terletak pada rendahnya interpretasi, bukan pada pola keseluruhan. Di SMPN 5 Bukittinggi analisis justru merupakan indikator terendah, sedangkan di SMP Nurul Khoir Jambi analisis paling tinggi. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh karakteristik soal, konteks, instrumen, dan peserta didik: penelitian di Bukittinggi menganalisis lembar ujian tengah semester, sedangkan penelitian ini memakai tes yang disusun khusus untuk keempat indikator pada materi Bilangan Rasional. Temuan Fitri et al. (2023), yang menempatkan interpretasi sebagai indikator yang paling mudah dipenuhi, juga menunjukkan bahwa profil berpikir kritis tidak seragam. Oleh karena itu, temuan ini tidak dibaca sebagai pola umum, tetapi sebagai dasar lokal untuk memperkuat interpretasi.

HLT membuat tantangan permainan memiliki tujuan pedagogis karena setiap petak diturunkan dari tujuan, dugaan proses belajar, dan prediksi kesalahan. Simon (1995) menempatkan nilai HLT pada siklus dugaan dan revisi, sedangkan Clements dan Sarama (2004) menekankan urutan tugas yang mengikuti perkembangan berpikir siswa. Dalam rancangan ini, kedua prinsip tersebut diwujudkan melalui dua keputusan. Urutan enam tahap mengikuti prasyarat konsep sehingga siswa tidak menghadapi masalah kontekstual sebelum menguasai perubahan bentuk dan operasi. Prediksi kesalahan menentukan isi bantuan, misalnya kesalahan membandingkan bilangan berbeda bentuk dijawab dengan petunjuk menyamakan bentuk, bukan hanya dengan pemberitahuan benar atau salah. Dengan demikian, prediksi respons siswa memengaruhi keputusan pembelajaran yang tertanam di dalam media.

Struktur Engklek sesuai untuk konteks aktivitas Bilangan Rasional karena petak bernomor dan gerak berurutan sejajar dengan lintasan belajar yang bertahap. Aturan bahwa pemain baru dapat melompat setelah menyelesaikan tantangan berfungsi sebagai perancah (scaffolding) bagi proses berpikir. Namun, aturan tersebut tidak dengan sendirinya menjamin interpretasi yang mendalam karena siswa dapat menebak atau langsung menghitung. Oleh karena itu, perpindahan petak dalam rancangan ini dikaitkan dengan penyelesaian langkah interpretasi, bukan hanya dengan jawaban akhir, dan langkah tersebut didukung pertanyaan pemantik. Rancangan ini sejalan dengan pandangan Prensky (2007) bahwa aturan permainan perlu menyatu dengan tujuan belajar, serta dengan temuan Wouters dan van Oostendorp (2013) bahwa dukungan berupa umpan balik, pemodelan, dan refleksi meningkatkan pembelajaran dalam permainan. Fitur pembahasan langkah demi langkah berfungsi sebagai pemodelan dan umpan balik, sedangkan tugas kesimpulan di akhir level berfungsi sebagai refleksi. Sejauh mana fitur tersebut benar-benar mendorong interpretasi yang mendalam masih harus dibuktikan pada uji coba.

Dibandingkan dengan penelitian yang ditelaah, kontribusi rancangan ini terletak pada integrasi tiga unsur yang sebelumnya dikaji secara terpisah. Penelitian Engklek terdahulu memakai media fisik atau bahan ajar cetak untuk komunikasi matematis dan berpikir kreatif (Putri et al., 2021; Ardiansyah et al., 2023), sedangkan kajian Mubaraq et al. (2025) tidak melaporkan penelitian Engklek untuk berpikir kritis. Penelitian GBL digital menguji permainan atau model yang sudah ada terhadap berpikir kritis (Radityastuti et al., 2023; Hartanto et al., 2024), tetapi tidak menguraikan rancangan tugas per indikator. Penelitian HLT menghasilkan lintasan belajar untuk pembelajaran tatap muka atau lembar kerja (Thohari et al., 2024; Rizki & Amir, 2025). Rancangan ini menggabungkan Engklek berbasis web, HLT yang memuat prediksi kesalahan dan antisipasinya, serta pemetaan setiap aksi permainan ke indikator berpikir kritis pada materi Bilangan Rasional. Kontribusi tersebut masih berupa kontribusi desain dan belum merupakan bukti keefektifan.

Bagi pembelajaran matematika kelas VII, rancangan ini menunjukkan bahwa media permainan dapat dipakai untuk melatih kebiasaan berpikir, tidak hanya untuk kuis atau penyajian materi. Guru dapat memakai alur interpretasi–analisis–evaluasi–inferensi pada setiap petak sebagai pola diskusi di kelas, termasuk ketika media ditampilkan di smartboard. Tabel 9 juga dapat menjadi panduan bagi guru untuk mengenali kesalahan yang mungkin muncul pada materi Bilangan Rasional.

Rancangan ini memiliki beberapa keterbatasan yang memengaruhi cara hasil tahap berikutnya ditafsirkan. Pertama, artikel ini baru mencakup tahap Analysis dan Design sehingga kualitas produk belum dapat disimpulkan. Kedua, lembar observasi menggambarkan permainan dimainkan bergiliran melalui smartboard. Pola ini membatasi kesempatan setiap siswa untuk berinteraksi langsung dengan media pada waktu yang sama, sehingga hasil observasi dan tes dapat lebih mencerminkan siswa yang aktif bermain. Pengamatan partisipasi setiap siswa dan penggunaan perangkat individual atau kelompok kecil perlu dipertimbangkan. Ketiga, tes keefektifan memuat satu soal per indikator sehingga cakupan pengukuran setiap indikator terbatas dan reliabilitasnya mungkin rendah. Keempat, uji coba direncanakan pada satu kelas tanpa kelompok pembandingan, sehingga peningkatan skor tidak dapat langsung dikaitkan dengan penggunaan media karena faktor lain, seperti pembelajaran reguler dan pengaruh pretest, tidak dikendalikan.

KESIMPULAN

Temuan empiris tahap Analysis menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis matematis 25 siswa kelas VII SMP Nurul Khoir Jambi mencapai 31,50% dari skor maksimum (kategori sangat rendah), dengan interpretasi sebagai indikator terlemah (3,0%). Observasi dan wawancara menunjukkan kebiasaan siswa mengikuti contoh guru, sedangkan angket menunjukkan minat siswa pada permainan digital. Dari temuan tersebut, penelitian ini menafsirkan kebutuhan akan media permainan berbasis web yang mewajibkan siswa menafsirkan informasi sebelum menghitung. Kebutuhan ini merupakan keputusan desain, bukan temuan empiris langsung.

Tahap Design menghasilkan rancangan E-Engklek Math Game yang terdiri atas spesifikasi produk, alur aktivitas pada setiap petak, pemetaan setiap unsur permainan ke satu indikator berpikir kritis utama, HLT enam tahap beserta prediksi kesalahan dan antisipasinya, storyboard sembilan tampilan, dan draf instrumen. Kontribusi rancangan ini terletak pada penggunaan HLT sebagai kerangka operasional untuk menetapkan urutan petak dan isi bantuan, serta penempatan interpretasi sebagai syarat untuk melanjutkan permainan. Kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan produk belum diuji dalam artikel ini.

Penelitian berikutnya disarankan mengikuti urutan berikut. Pertama, merealisasikan rancangan menjadi produk web yang dapat digunakan. Kedua, melakukan validasi oleh ahli materi, ahli media, ahli instrumen, dan praktisi, lalu merevisi produk dan instrumen. Ketiga, melakukan uji kepraktisan dan uji coba kepada siswa. Keempat, membandingkan prediksi HLT dengan respons belajar aktual. Kelima, merevisi lintasan belajar berdasarkan temuan uji coba. Keenam, menguji keefektifan dengan tes yang memuat lebih dari satu butir per indikator dan, apabila sesuai dengan tujuan penelitian, dengan kelompok pembandingan.

REFERENSI

Ardiansyah, A. S., Anwar, M., Prasetya, B. D., Wardani, R. K., & Ratnawati, N. (2023). Inovasi Bahan Ajar Etnomatematika Melalui Permainan Engklek Dengan Game Based Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Peserta Didik. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 4(2), 1344–1357. <https://doi.org/10.46306/lb.v4i2.375>

- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-09506-6>
- Clements, D. H., & Sarama, J. (2004). Learning trajectories in mathematics education. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 81-89.
https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602_1
- Facione, P. A. (2015). *Critical thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment.
- Fatmawati, R., & Siregar, T. J. (2026). Pengaruh model game-based learning terhadap kemampuan berpikir kritis matematis siswa pada materi bangun ruang sisi datar. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 14(1), 131-140.
<https://doi.org/10.21831/jpms.v14i1.93601>
- Firmasari, S., Herman, T., & Nurlaelah, E. (2023). The evolution of Indonesian curriculum: Hypothetical learning trajectory for mastery of mathematical and computational thinking. *JRAMathEdu (Journal of Research and Advances in Mathematics Education)*, 8(4), 213-224.
<https://doi.org/10.23917/jramathedu.v8i4.2116>
- Fitri, W., Maimunah, M., & Suanto, E. (2023). Analisis kemampuan berpikir kritis matematis siswa kelas IX SMP Negeri 20 Pekanbaru pada materi persamaan garis lurus. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 6, 592-600.
- Fitria, F., Sunismi, S., & Fuady, A. (2024). Validity of interactive media to strengthen understanding concepts in integer class VII. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 11(1), 69-79. <https://doi.org/10.21831/jitp.v11i1.64289>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
<https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hartanto, R. T., Hamidah, & Kusuma, J. W. (2024). Penerapan model pembelajaran game based learning dengan quiz game Baambloze terhadap kemampuan berpikir kritis matematik siswa SMP. *Prosiding Diskusi Panel Nasional Pendidikan Matematika*, 10, 337-346.
- Hussein, M. H., Ow, S. H., Elaish, M. M., & Jensen, E. O. (2022). Digital game-based learning in K-12 mathematics education: A systematic literature review. *Education and Information Technologies*, 27(2), 2859-2891.
<https://doi.org/10.1007/s10639-021-10721-x>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2022). Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka.
- Mao, W., Cui, Y., Chiu, M. M., & Lei, H. (2022). Effects of game-based learning on students' critical thinking: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 59(8), 1682-1708. <https://doi.org/10.1177/07356331211007098>
- Melgusmayenti, & Isnaniah. (2021). Kemampuan berpikir kritis matematis siswa kelas VII SMPN 5 Bukittinggi. *Al Khawarizmi: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika*, 5(2), 102-112. <https://doi.org/10.22373/jppm.v5i2.9589>

- Mubaraq, M. H., Kartono, & Zaenuri. (2025). Integrasi permainan tradisional engklek pada pembelajaran matematika: Studi SLR. *JP2M (Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Matematika)*, 11(2), 1415–1424. <https://doi.org/10.29100/jp2m.v11i2.8193>
- Prensky, M. (2007). *Digital game-based learning*. Paragon House.
- Putri, R. L., Marsitin, R., & Suwanti, V. (2021). Permainan tradisional engklek untuk meningkatkan komunikasi matematis peserta didik. *Jurnal Pendidikan Matematika RAFA*, 7(2), 157–169.
- Radityastuti, E. Y., Lukman, H. S., & Agustiani, N. (2023). Implementasi digital game-based learning untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah matematis siswa SMP. *AXIOM: Jurnal Pendidikan dan Matematika*, 12(1), 96–105. <https://doi.org/10.30821/axiom.v12i1.16047>
- Rizki, F. A., & Amir, M. F. (2025). Hypothetical learning trajectory based on inquiry learning to find the volume of space. *Matematika dan Pembelajaran*, 13(1), 19–42. <https://doi.org/10.33477/mp.v13i1.9303>
- Samo, D. D., Ekowati, C. K., Soko, I. P., & Ngawas, K. R. (2023). Pengaruh penggunaan media pembelajaran matematika berbasis website terhadap peningkatan hasil belajar siswa: Meta-analisis. *Jurnal Riset Pendidikan Matematika*, 10(1), 89–101. <https://doi.org/10.21831/jrpm.v10i1.49357>
- Sapitri, D., & Meiliasari. (2026). Systematic literature review: Kemampuan berpikir kritis dalam pembelajaran matematika. *Gammath: Jurnal Ilmiah Program Studi Pendidikan Matematika*, 11(1), 20–36. <https://ejurnal.unmuahjember.ac.id/index.php/JPM/article/view/4513>
- Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education*, 26(2), 114–145. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.26.2.0114>
- Syafmen, W., & Indri, S. (2023). Development of M-learning media illustrated crossword puzzles to increase learning motivation for middle school students. *Journal of Educational Science and Technology (EST)*, 9(2), 111–117. <https://doi.org/10.26858/est.v9i2.44064>
- Thohari, F. L., Prabawati, M. N., & Ratnaningsih, N. (2024). Hypothetical learning trajectory pada pembelajaran perbandingan trigonometri. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Matematika Sekolah (JP2MS)*, 8(2), 144–152.
- Wouters, P., & van Oostendorp, H. (2013). A meta-analytic review of the role of instructional support in game-based learning. *Computers & Education*, 60(1), 412–425. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.018>
- Yuliardi, R., & Rosjanuardi, R. (2021). Hypothetical learning trajectory in student's spatial abilities to learn geometric transformation. *JRAMathEdu (Journal of Research and Advances in Mathematics Education)*, 6(3), 174–190. <https://doi.org/10.23917/jramathedu.v6i3.13338>