



Prosiding

Seminar Nasional

Unit Kegiatan Mahasiswa Penalaran dan Riset

IKIP PGRI Bojonegoro

Tema “Eksplorasi Penalaran dalam Riset untuk Meningkatkan Kualitas Publikasi Ilmiah”



Manfaat Simulasi Matematika Digital dalam Menumbuhkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif pada Siswa SMA

Nabila Ayu Sofa^{1(✉)}, Cahyo Hasanudin²

¹Program Studi Pendidikan Matematika, IKIP PGRI Bojonegoro, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Bahasa dan Sastra Indonesia, IKIP PGRI Bojonegoro, Indonesia

nabilaayusofa@gmail.com

abstrak— Matematika digital adalah metode pengajaran dan penggunaan matematika yang memanfaatkan teknologi modern, seperti tulisan, ilustrasi, diagram, suara, animasi, rekaman video, serta bentuk interaksi digital lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas simulasi matematika digital dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa SMA. Metode penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* atau yang biasa disebut (SLR). Data di dalam penelitian ini menggunakan data sekunder berupa kata, frasa, klausa, atau bahkan kalimat dari berbagai buku dan artikel jurnal yang terbit secara nasional. Teknik pengumpulan data menggunakan metode simak dan catat. Teknik validasi data menggunakan teknik triangulasi teori. Hasil penelitian ini adalah simulasi digital seperti PhET memiliki manfaat 1) Meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui pemecahan masalah 2) Meningkatkan kreativitas dalam mencari solusi alternatif 3) Meningkatkan kemampuan *Analytical Thinking* 4) Implikasi Pedagogis 5) Implikasi transformatif untuk pendidikan matematika. Simpulan penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis yang signifikan bagi pengembangan pembelajaran matematika yang lebih efektif dan inovatif di tingkat SMA.

Kata kunci— Pembelajaran Matematika Digital, Berpikir kritis, Berpikir Kreatif

Abstract— Digital mathematics is a teaching method and utilization of mathematics that leverages modern technology, such as writing, illustrations, diagrams, sound, animation, video recordings, and other forms of digital interaction. This research aims to analyze the effectiveness of digital mathematics simulations in improving critical and creative thinking abilities of high school students. This research method uses the Systematic Literature Review (SLR) method. The data in this research uses secondary data in the form of words, phrases, clauses, or even sentences from various books and journal articles published nationally. The data collection technique uses observation and note-taking methods. The data validation technique uses theory triangulation technique. The results of this research show that digital simulations such as PhET have benefits: 1) Enhancing critical thinking skills through problem solving 2) Enhancing creativity in finding alternative solutions 3) Enhancing analytical thinking skills 4) Pedagogical implications 5) Transformative implications for mathematics education. The conclusion of this research provides significant theoretical and practical contributions to the development of more effective and innovative mathematics learning at the high school level.

Keywords— Digital Mathematics Learning, Critical Thinking, Creative Thinking

PENDAHULUAN

Matematika Digital terdiri dari dua istilah, yaitu Matematika dan Digital. Matematika merupakan cabang ilmu yang berkontribusi pada berbagai bidang ilmu pengetahuan lainnya (Isrok'atun dkk., 2020) serta berkaitan dengan proses belajar (Rahmah, 2013) dan suatu cara berpikir secara sistematis (Laksana, 2016). Sedangkan digital adalah gabungan dari berbagai bentuk media yang mencakup teks, gambar, grafik, suara, animasi, video, interaksi, dan lainnya yang telah diolah menjadi berkas digital (Harsari, 2024) yang dioperasikan oleh berbagai teknologi dalam bentuk digital (Fatira dkk., 2021). Matematika digital adalah metode pengajaran dan penggunaan matematika yang memanfaatkan teknologi modern, seperti tulisan, ilustrasi, diagram, suara, animasi, rekaman video, serta bentuk interaksi digital lainnya untuk mendukung pemahaman terhadap prinsip-prinsip matematika dan mengembangkan kemampuan berpikir yang sistematis dan rasional.

Pembelajaran melalui media digital dalam matematika bertujuan membantu siswa memahami konsep-konsep matematika yang bersifat abstrak (Khairunnisa, & Ilmi, 2020). Menurut Wahab dkk. (2021) pembelajaran matematika digital dapat memfasilitasi siswa dalam memahami materi secara lebih mendalam, sehingga pengetahuan siswa dapat meningkat. Penggunaan media digital dalam pembelajaran matematika juga dapat meningkatkan komunikasi antara pengajar dan murid, serta mengurangi kejenuhan saat mengikuti pelajaran (Akrim dalam Syarifuddin, & Utari, 2022). Pembelajaran matematika dengan menggunakan platform digital memungkinkan siswa untuk mengerti konsep yang tidak konkrit dengan lebih baik, memperluas wawasan, memperkuat interaksi antara pengajar dan murid, serta mengurangi kebosanan dalam proses belajar.

Menurut Kurniati dkk. (2025) peranan teknologi dalam pembelajaran matematika memiliki dampak besar terhadap peningkatan cara dan hasil dari program yang menyajikan pembelajaran yang bersifat visual serta abstrak melalui video edukatif yang menarik. Di samping itu, materi pembelajaran akan menjadi lebih mudah dipahami oleh siswa, sehingga mereka dapat lebih efektif dalam mencapai tujuan belajar mereka (Wulandari dkk., 2023). Pemanfaatan matematika digital di kelas juga berpotensi untuk meningkatkan kerja sama antara guru dan siswa, serta siswa satu sama lain. Hal ini juga berperan dalam mempersiapkan mereka menghadapi dunia kerja di masa depan, dimana keterampilan digital dan kerjasama menjadi semakin penting (Gusteti, 2024). Teknologi memiliki peranan yang krusial dalam proses pembelajaran matematika dengan meningkatkan pemahaman pelajar melalui alat visual seperti video pembelajaran. Ini membuat konten menjadi lebih mudah dicerna dan mendukung pelajar dalam mencapai tujuan pendidikan secara efisien.

Berpikir adalah suatu proses yang dilakukan individu yang melibatkan kemampuan otak untuk memproses berbagai informasi yang diterimanya sehingga dapat menentukan tindakan yang paling sesuai untuk menyelesaikan suatu masalah (Lismaya, 2019). Berpikir Kritis merupakan usaha seseorang dengan memberikan jawaban yang logis pada pertanyaan-pertanyaan yang sulit dijawab (Rahmaniah dkk., 2023) sehingga mendorong seseorang untuk menginterpretasikan dan menilai informasi guna mengambil keputusan (Novieastari dalam Abu bakar, 2023)

mengenai apa yang sebaiknya dipercaya atau dilakukan (Samura, 2019). Sedangkan kreatif diartikan sebagai proses menciptakan sesuatu yang inovatif, yang belum pernah dicetuskan oleh orang lain (Windyariani, 2019). Dalam konteks ini, seseorang mampu menciptakan sebuah hasil, baik melalui adaptasi, maupun karya yang murni yang dapat memberikan manfaat serta memiliki makna (Syofyan, 2023) imajinatif yang lebih unggul untuk melahirkan sebuah gagasan (Lokantara, 2020). Berpikir kritis mencakup kemampuan untuk memberikan jawaban yang logis, mengevaluasi informasi, serta membuat keputusan dengan cara yang rasional. Di sisi lain, berpikir kreatif adalah kemampuan untuk menghasilkan ide atau karya baru yang segar, baik melalui penyesuaian ataupun gagasan asli yang memiliki nilai dan makna.

Tujuan dari pemikiran kritis sejatinya adalah untuk menilai pentingnya sebuah gagasan, menilai penerapan atau praktik (Lubis, 2017) dan untuk merumuskan gagasan-gagasan inovatif serta menemukan peluang yang sebelumnya tidak terlihat (Dwiprabowo, 2024). Selain itu, melalui pemikiran kritis, seseorang dapat mengelola, menyesuaikan, dan memperbaiki pola pikirnya sehingga mampu membuat keputusan yang tepat (Maulana, 2017). Berpikir kritis memiliki tujuan untuk mengevaluasi signifikansi dari suatu konsep, menciptakan ide-ide baru yang segar, serta mengidentifikasi kemungkinan yang belum dimanfaatkan.

Manfaat dari berpikir kritis dan kreatif menurut Hartati dkk. (2019) adalah mendukung siswa dalam meningkatkan keterampilan untuk menyelesaikan masalah dengan cara yang lebih efektif dan efisien serta memungkinkan seseorang untuk menemukan akar masalah (Surya & Indriyani, 2011). Berpikir secara kritis juga dapat membantu seseorang untuk lebih mengenali kemampuan pribadi dan tetap bersikap objektif saat menilai suatu hal (Elsabrina dkk., 2022). Berpikir kritis dan kreatif berguna untuk memperbaiki keahlian dalam menyelesaikan tantangan dengan baik, mengidentifikasi sumber masalah, memahami kemampuan diri, serta mengevaluasi berbagai hal dengan cara yang tidak biasa.

Simulasi adalah proses pembuatan model (baik matematika maupun logika) dari sebuah sistem yang kemudian dijalankan untuk menggambarkan dan menjelaskan karakteristik dinamis dari sistem itu sendiri (Arif, 2017) dengan menggunakan teknik pembuatan model yang berasal dari kondisi nyata (sistem) dan kemudian melakukan eksperimen pada model tersebut (Siregar, 2016). Selain itu, simulasi juga dapat diartikan sebagai penggambaran kembali kondisi-kondisi tertentu dari dunia nyata (Sutirna, 2021). Simulasi merupakan kegiatan merancang dan mengoperasikan model dari sebuah sistem yang ada di dunia nyata dengan tujuan untuk menunjukkan sifat-sifat dinamisnya dan melakukan penelitian, sehingga dapat menggambarkan situasi di dunia nyata.

Tujuan dari simulasi menurut Muzaini dkk. (2023) adalah untuk mencontohkan sebuah konsep dan juga mengembangkan sesuatu, misalnya dengan menerapkan metode simulasi dalam proses pendidikan yang dapat memberikan pengalaman kepada siswa. Selanjutnya, Shopa dan Sakti (2021) menjelaskan bahwa tujuan dari simulasi adalah memberikan kesempatan kepada seseorang untuk melakukan percobaan dalam mencari skenario optimal tanpa memerlukan sumber daya tambahan serta mencapai pemahaman terhadap suatu konsep atau prinsip dan

memberikan pengalaman yang nyata (Munandar, & Hardi, 2023). Simulasi bertujuan untuk mengilustrasikan ide, menciptakan sesuatu, menyediakan pengalaman pendidikan, memungkinkan eksperimen tanpa menggunakan sumber daya tambahan, serta mendukung pemahaman konsep atau prinsip secara praktis.

Metode simulasi adalah teknik yang melibatkan tindakan yang tidak nyata atau proses meniru perilaku, serta memainkan peran dalam sebuah perilaku seolah-olah terjadi dalam situasi yang sebenarnya, guna menguraikan suatu topik pelajaran (Purwono & Hidayat dalam Nugraha dkk., 2023). Menurut Rahayu (2015), simulasi berpotensi menjadi metode pengajaran dengan anggapan bahwa tidak semua aspek pembelajaran dapat dilakukan secara langsung terhadap objek yang nyata. Simulasi mampu memberikan hasil yang akurat sebagai dasar untuk merumuskan solusi masalah dalam sistem nyata melalui peniruan operasi dengan menggunakan model dan prosedur yang relevan dan tepat untuk melakukan penelitian, analisis, dan evaluasi pada operasional sistem (Khotimah, 2015). Metode simulasi merupakan cara untuk mereplikasi tindakan dalam konteks yang menyerupai kenyataan guna memperjelas suatu tema pengajaran. Simulasi diterapkan saat metode pengajaran langsung tidak dapat dilakukan dan mampu menghasilkan informasi yang tepat untuk dianalisis, dinilai, dan digunakan dalam penyelesaian masalah di dunia nyata.

Penelitian ini sangat penting untuk dilakukan karena selaras dengan kebutuhan keterampilan abad ke-21, yang menuntut penguasaan kemampuan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills* atau HOTS). Kemampuan berpikir kritis dan kreatif menjadi modal utama bagi siswa dalam menghadapi berbagai tantangan di era global. Simulasi digital, sebagai salah satu inovasi teknologi pembelajaran, menawarkan pengalaman belajar yang interaktif dan bermakna. Melalui simulasi, siswa terdorong untuk berpikir aktif, mengeksplorasi konsep, serta menyelesaikan masalah matematika secara mandiri. Selain itu, simulasi membantu siswa memahami keterkaitan antara konsep matematika yang abstrak dengan penerapannya dalam kehidupan nyata, sehingga meningkatkan pemahaman kontekstual dan kreativitas mereka.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian *Systematic Literature Review* atau sering dikenal dengan singkatan SLR. Penelitian SLR adalah pendekatan yang diterapkan untuk menilai, menyelidiki, dan menginterpretasikan semua jenis penelitian terkait topik yang diminati serta pertanyaan penelitian tertentu (Triandini dkk. dalam Hikmah dan Hasanudin, 2024).

Data penelitian berbentuk data sekunder. Menurut Umaroh dan Hasanudin (2024), Data sekunder dapat berbentuk artikel-artikel yang bersumber dari berbagai jurnal nasional. Selain itu, informasi yang diperoleh juga berasal dari buku-buku, skripsi, jurnal, dan dokumen-dokumen yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Data sekunder yang digunakan di dalam penelitian ini berupa kata, frasa, klausa, atau bahkan kalimat yang diambil dari buku-buku dan artikel jurnal yang terbit secara nasional.

Teknik pengumpulan data menggunakan metode simak dan catat. Metode simak adalah suatu metode dengan cara menyimak penggunaan bahasa, sedangkan teknik catat adalah pencatatan terhadap data-data dan dilanjutkan dengan klasifikasi data menggunakan alat tulis tertentu (Yunita, 2007). Metode simak di dalam penelitian ini dengan cara mengamati dan menelaah sebuah penelitian dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan artikel. Metode catat di dalam penelitian ini dengan cara mencatat informasi penting berdasarkan kata kunci serta informasi dari berbagai studi pustaka yang relevan dengan topik pembahasan.

Teknik validasi data menggunakan teknik triangulasi. Menurut Puspita dan Hasanudin (2024), Teknik triangulasi adalah metode yang digunakan untuk memperbaiki mutu dan keandalan, serta mengecek akurasi dengan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber. Triangulasi di dalam penelitian ini menggunakan teknik triangulasi teori. Pada penelitian ini teori dari hasil riset atau konsep pakar dijadikan validasi atas pernyataan atau konsep yang sedang disampaikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan systematic literature review yang telah dilakukan, ditemukan berbagai manfaat simulasi matematika digital dalam menumbuhkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif pada siswa SMA. Berikut adalah hasil dari manfaat simulasi matematika digital melalui PhET :

1. Meningkatkan Kemampuan berpikir kritis melalui pemecahan masalah

Platform PhET Interactive Simulations, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, telah melayani lebih dari 1 miliar simulasi di seluruh dunia. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa pendekatan visual-interaktif dalam pembelajaran sains dan matematika memiliki daya tarik dan efektivitas yang luar biasa. Platform ini menyediakan kategori pembelajaran yang komprehensif yaitu Fisika, Matematika, Kimia, Ilmu Kebumihan, dan Biologi dengan desain antarmuka yang intuitif dan menarik.



Gambar 1. Tampilan halaman utama**Gambar 2.** PhET

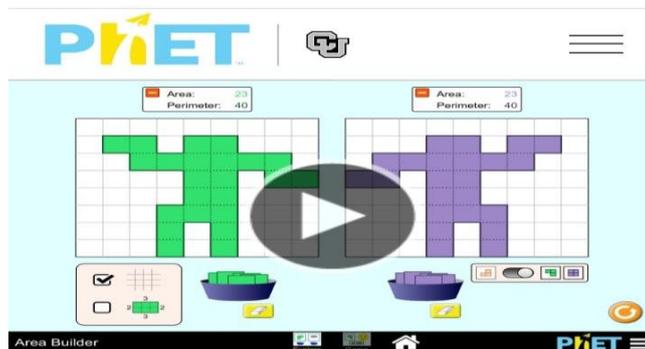
Gambar 1 menunjukkan PhET adalah platform simulasi interaktif yang terkenal untuk pembelajaran sains dan matematika. Interface ini menunjukkan halaman pencarian/filter untuk menemukan simulasi berbasis HTML5 dalam kategori Matematika. Platform ini banyak digunakan dalam pendidikan untuk membantu siswa memahami konsep-konsep kompleks melalui simulasi visual yang interaktif.

Gambar 2 menunjukkan bahwa siswa dapat mengalami kemajuan signifikan dalam keterampilan menganalisis, menilai, dan menarik kesimpulan dari informasi yang terkandung dalam soal matematika yang disajikan melalui simulasi berbasis digital. Simulasi matematika digital menawarkan platform interaktif yang memungkinkan siswa dihadapkan pada berbagai situasi permasalahan kontekstual. Hal ini mendorong mereka untuk menilai beragam solusi dan mengambil keputusan yang rasional.

Fitur visual dalam simulasi digital memberikan kemudahan bagi siswa untuk menemukan pola, menganalisis informasi, serta memahami konsep-konsep abstrak yang sebelumnya sulit dipahami. Simulasi PhET (Physics Education Technology) menjadi salah satu contoh platform yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. Platform ini menyediakan simulasi interaktif yang memungkinkan siswa untuk:

- ❖ Melakukan eksperimen virtual dengan mengubah parameter dan mengamati hasilnya secara real-time
- ❖ Menganalisis hubungan sebab-akibat dalam fenomena matematika
- ❖ Mengembangkan kemampuan reasoning dan logical thinking melalui proses trial and error yang terkontrol
- ❖ Memvalidasi hipotesis melalui pengujian langsung dalam lingkungan simulasi

Penggunaan simulasi digital ini sejalan dengan tujuan berpikir kritis yang dikemukakan oleh Lubis (2017), yaitu untuk menilai pentingnya sebuah gagasan dan menilai penerapan atau praktik. Melalui simulasi, siswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi aktif terlibat dalam proses analisis dan evaluasi.



Menentukan Luas

Gambar 3. Tampilan Menu Menentukan Luas simulasi PhET

Gambar 3 menunjukkan Simulasi matematika PhET yang dirancang untuk mengajarkan konsep penghitungan luas kepada siswa. Simulasi menyediakan dua pendekatan pembelajaran:

- ❖ Mode eksplorasi untuk pemahaman konsep secara bebas
- ❖ Mode permainan untuk pembelajaran yang lebih engaging dengan elemen gamifikasi

Simulasi semacam ini sangat efektif untuk membantu siswa memvisualisasikan dan memahami konsep matematis yang abstrak melalui manipulasi objek virtual yang interaktif.



Gambar 4. Halaman Menu PhET Menentukan Luas

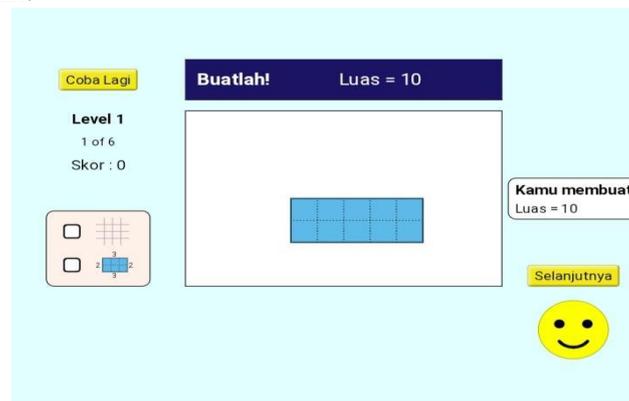
Gambar 4 menunjukkan menu awal simulasi PhET "Menentukan Luas" dengan latar belakang hitam yang menyediakan dua pilihan mode pembelajaran: Eksplorasi

(kiri) dengan ikon grid kotak-kotak berwarna, dan Permainan (kanan) yang sedang terpilih ditandai border kuning dengan ikon bentuk geometris dan emoticon senyum, merupakan antarmuka untuk memilih metode pembelajaran konsep luas dalam matematika.



Gambar 5. Halaman Pemilihan Level dalam Simulasi PhET

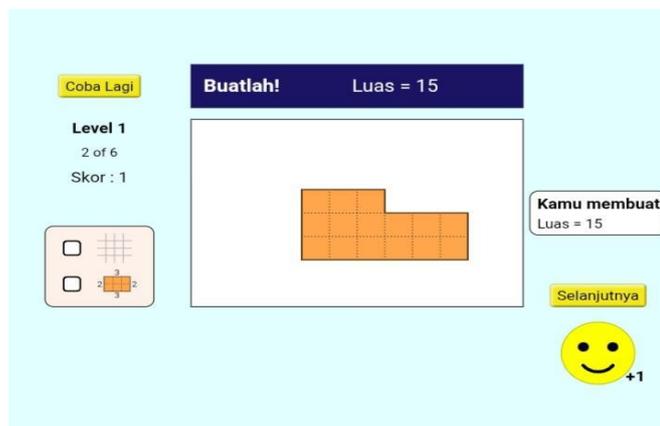
Gambar 5 menunjukkan halaman pemilihan level dalam simulasi PhET "Menentukan Luas" dengan latar belakang biru muda dan judul "Pilihlah levelmu!" di bagian atas. Terdapat 6 kotak level yang disusun dalam 2 baris, masing-masing berisi angka berwarna (1-6) dengan sistem rating bintang di bawahnya untuk menunjukkan tingkat kesulitan atau pencapaian, serta dilengkapi kontrol audio di pojok kiri bawah dan tombol navigasi di pojok kanan bawah untuk mengatur pengalaman bermain.



Gambar 6. Tampilan gameplay Level 1 dari simulasi PhET

Gambar 6 menunjukkan tampilan gameplay Level 1 dari simulasi PhET "Menentukan Luas" dengan misi "Buatlah! Luas = 10" yang ditampilkan dalam banner ungu di bagian atas. Area kerja utama berisi bentuk persegi panjang biru yang terdiri dari kotak-kotak grid, panel kontrol di kiri bawah menampilkan tools untuk membuat bentuk dengan contoh bentuk kecil berlabel "3", informasi level dan skor di pojok kiri atas, serta feedback "Kamu membuat Luas = 10" di pojok kanan

dengan tombol "Selanjutnya" dan emoticon senyum, menunjukkan bahwa pemain telah berhasil menyelesaikan tantangan menghitung luas pada level tersebut.



Gambar 7. Tampilan Level 1 Tahap Kedua (2 of 6) dari Simulasi PhET

Gambar 7 menunjukkan tampilan Level 1 tahap kedua (2 of 6) dari simulasi PhET "Menentukan Luas" dengan tantangan "Buatlah! Luas = 15" yang ditampilkan dalam banner ungu di bagian atas. Area kerja utama menampilkan bentuk L berwarna orange yang terdiri dari kotak-kotak grid, panel kontrol di kiri bawah menyediakan tools untuk membuat bentuk dengan contoh shape kecil berlabel "3", informasi skor menunjukkan "Skor: 1" di pojok kiri atas, serta feedback "Kamu membuat Luas = 15" di pojok kanan dengan tombol "Selanjutnya" dan emoticon senyum dengan indikator "+1", menandakan pemain telah berhasil menyelesaikan tantangan kedua dan mendapat poin tambahan.

2. Meningkatkan Kreativitas dalam Mencari Solusi Alternatif

Simulasi matematika digital menciptakan lingkungan laboratorium virtual di mana siswa dapat melakukan eksperimen tanpa batasan fisik atau material. Dalam konteks pembelajaran "Menentukan Luas" sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian ini, siswa tidak lagi menghafal rumus secara mekanis, tetapi memahami konsep melalui eksplorasi aktif. Analisis terhadap simulasi "Menentukan Luas" menunjukkan bahwa proses eksploratif yang dilakukan siswa tidak hanya meningkatkan kreativitas, tetapi juga secara bertahap mengembangkan kemampuan berpikir kritis mereka melalui beberapa tahapan sistematis dalam proses pembelajaran.

A. Transformasi Peran Siswa

Penerapan simulasi matematika digital membawa dampak besar terhadap pergeseran peran siswa dalam proses pembelajaran. Siswa yang sebelumnya berperan sebagai penerima informasi secara pasif (passive receiver), kini berubah menjadi pembangun pengetahuan aktif (active constructor). Mereka lebih terlibat dalam eksplorasi konsep-konsep matematika secara mandiri dan dinamis melalui interaksi dengan simulasi digital yang tersedia.

B. Dari Rule Follower Menjadi Problem Solver

Tidak lagi terbatas pada mengikuti aturan atau menghafal rumus secara mekanis, siswa didorong untuk menjadi pemecah masalah (problem solver). Melalui simulasi digital, mereka dilatih untuk memahami konsep secara lebih mendalam dan menerapkannya dalam berbagai konteks, yang menuntut kemampuan berpikir kritis dan logis.

C. Dari Pembelajar Individual Menjadi Kolaboratif

Proses belajar yang sebelumnya bersifat individual kini mengalami transformasi menjadi kolaboratif. Siswa didorong untuk menjadi penjelajah pengetahuan bersama (collaborative explorer), di mana mereka dapat berdiskusi, bertukar ide, dan memecahkan masalah secara kelompok melalui media simulasi yang interaktif.

D. Transformasi Peran Guru

Perubahan signifikan juga terjadi pada peran guru. Dari yang sebelumnya berfungsi sebagai penyampai informasi (information provider), guru kini beralih menjadi fasilitator pembelajaran (learning facilitator). Mereka tidak lagi menjadi satu-satunya sumber jawaban, melainkan membimbing eksplorasi siswa dan menyediakan lingkungan belajar yang mendukung pengembangan pemikiran mandiri.

E. Dari Pemberi Jawaban ke Pematik Pertanyaan

Guru tidak hanya menyampaikan jawaban, tetapi juga mendorong siswa untuk bertanya dan berpikir lebih dalam. Sebagai pemantik pertanyaan (question provoker), guru menciptakan tantangan intelektual yang memicu diskusi, refleksi, dan analisis kritis.

F. Sebagai Perancang Pengalaman Belajar

Lebih jauh lagi, guru kini berperan sebagai perancang pengalaman belajar (learning designer). Mereka merancang kegiatan pembelajaran yang bermakna, relevan, dan kontekstual, sehingga mampu memenuhi kebutuhan siswa abad ke-21 yang menuntut pembelajaran aktif, kreatif, dan berbasis teknologi.

G. Rekomendasi Implementasi

Agar manfaat dari simulasi matematika digital dapat dirasakan secara optimal, diperlukan strategi implementasi yang menyeluruh. Untuk institusi pendidikan, penting untuk melakukan pengembangan infrastruktur (*infrastructure*

development) dengan memastikan ketersediaan teknologi dan konektivitas yang memadai sebagai fondasi pembelajaran digital yang efektif.

H. Integrasi Kurikulum dan Reformasi Penilaian

Simulasi digital perlu diintegrasikan secara formal ke dalam kurikulum (*curriculum integration*) agar menjadi bagian dari proses belajar yang terstruktur. Selain itu, dibutuhkan reformasi sistem penilaian (*assessment reform*) yang lebih adaptif terhadap model pembelajaran digital dan mampu mengukur kemampuan berpikir kritis dan kreatif siswa secara lebih autentik.

I. Desain Pembelajaran oleh Pengembang Kurikulum

Pengembang kurikulum disarankan untuk menerapkan desain berbasis kompetensi (*competency-based design*) yang menekankan pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Jalur pembelajaran yang fleksibel dan terhubung dengan dunia nyata (*real-world connection*) juga harus disediakan agar pembelajaran terasa relevan dan aplikatif.

J. Peningkatan Kapasitas Guru

Akhirnya, peran guru dalam implementasi simulasi digital harus diperkuat melalui peningkatan literasi digital. Guru perlu dibekali keterampilan fasilitasi eksplorasi pembelajaran (*facilitation skills*), serta terus mengikuti perkembangan terbaru dalam dunia teknologi pendidikan melalui pembelajaran berkelanjutan (*continuous learning*).

3. Meningkatkan Kemampuan *Analytical Thinking*

A. Kemampuan Dekomposisi

Siswa menunjukkan peningkatan dalam kemampuan memecah masalah kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana. Melalui simulasi digital, mereka dilatih untuk mengidentifikasi elemen-elemen utama dari suatu persoalan, memahami hubungan antar bagian, dan menyusun kembali langkah-langkah pemecahan masalah secara terstruktur. Keterampilan ini sangat penting dalam pembelajaran matematika yang seringkali memuat konsep-konsep abstrak dan saling berkaitan.

B. Recognition Pattern

Simulasi digital juga mendorong siswa untuk mengenali pola dan hubungan antar variabel. Dalam konteks simulasi seperti "Menentukan Luas", siswa terbiasa melihat keteraturan dalam bentuk-bentuk geometris, serta memahami bagaimana perubahan parameter mempengaruhi hasil akhir. Kemampuan mengenali pola ini memperkuat daya nalar serta membantu siswa membentuk generalisasi matematis.

C. Reasoning Logical

Simulasi matematika digital memberikan ruang bagi siswa untuk mengembangkan penalaran logis. Saat mereka berinteraksi dengan variabel dan skenario di dalam simulasi, mereka belajar membuat prediksi, menguji hipotesis, dan menyimpulkan hasil berdasarkan data yang diperoleh. Proses ini memperkuat kemampuan mereka untuk berpikir secara deduktif dan induktif dalam memecahkan masalah.

D. Critical Evaluation

Kemampuan evaluasi kritis berkembang seiring dengan aktivitas reflektif siswa dalam mengevaluasi solusi yang telah mereka coba. Siswa tidak hanya menyelesaikan soal, tetapi juga menilai apakah strategi mereka efektif, efisien, dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Feedback dari simulasi memberikan masukan langsung yang mendorong siswa untuk memperbaiki pendekatan mereka secara mandiri dan terarah.

4. Implikasi Pedagogis

Temuan paling menarik dari penelitian ini adalah bagaimana simulasi matematika digital mampu mengintegrasikan kemampuan berpikir kritis dan kreatif secara bersamaan. Siswa tidak hanya dituntut untuk berpikir logis dan analitis, tetapi juga inovatif dan imajinatif.

Model Pembelajaran Terintegrasi

Gambar 8. Model Pembelajaran

MASALAH → ANALISIS KRITIS → EKSPLORASI KREATIF → SOLUSI INOVAT
→ EVALUASI KRITIS → OPTIMISASI KREATIF

Gambar 8 menunjukkan Siklus pembelajaran ini menunjukkan bagaimana kemampuan berpikir kritis dan kreatif saling memperkuat satu sama lain. *Critical analysis* memberikan landasan yang kuat bagi siswa untuk melakukan eksplorasi lebih lanjut, dengan menganalisis situasi secara mendalam sebelum mengambil keputusan. Setelah itu, *creative exploration* memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan solusi yang tidak terduga dan inovatif. Selanjutnya, melalui *critical evaluation*, siswa dapat menilai secara objektif kualitas dari solusi yang telah mereka kembangkan, apakah sesuai dengan tujuan atau masih perlu disempurnakan. Akhirnya, proses *creative optimization* membantu siswa memperbaiki dan mengembangkan solusi tersebut berdasarkan hasil evaluasi kritis sebelumnya, sehingga tercipta proses pembelajaran yang iteratif, reflektif, dan terus berkembang.

5. Implikasi Transformatif untuk Pendidikan Matematika

Penerapan simulasi matematika digital tidak hanya berdampak pada peningkatan kemampuan kognitif siswa, tetapi juga membawa perubahan transformatif dalam struktur peran para stakeholder pendidikan. Peran siswa mengalami pergeseran signifikan, dari yang sebelumnya hanya sebagai penerima informasi pasif (*passive receiver*), menjadi pembangun pengetahuan aktif (*active constructor*) yang terlibat langsung dalam eksplorasi konsep-konsep matematika. Selain itu, siswa tidak lagi terbatas pada mengikuti aturan atau rumus secara mekanis (*rule follower*), melainkan bertransformasi menjadi pemecah masalah (*problem solver*) yang memahami konsep secara mendalam. Lebih jauh, proses belajar tidak lagi bersifat individual semata, tetapi berkembang ke arah kolaboratif, menjadikan siswa sebagai penjelajah pengetahuan secara bersama-sama (*collaborative explorer*) melalui interaksi dalam simulasi.

Transformasi juga terjadi pada peran guru. Dari sekadar penyampai informasi (*information provider*), guru kini berperan sebagai fasilitator pembelajaran (*learning facilitator*) yang membimbing eksplorasi siswa. Guru tidak lagi menjadi pemberi jawaban (*answer giver*), melainkan menjadi pemantik pertanyaan (*question provoker*) yang mendorong siswa untuk berpikir lebih dalam dan kritis. Selain itu, guru juga berperan sebagai perancang pengalaman belajar (*learning designer*), yang menciptakan lingkungan belajar yang bermakna dan sesuai dengan kebutuhan peserta didik abad ke-21.

Berdasarkan temuan tersebut, implementasi simulasi matematika digital perlu diikuti oleh berbagai strategi pendukung. Untuk institusi pendidikan, penting untuk melakukan pengembangan infrastruktur (*infrastructure development*) berupa investasi pada perangkat teknologi dan konektivitas internet yang memadai. Kurikulum juga perlu diintegrasikan dengan penggunaan simulasi digital secara formal, serta dilakukan reformasi sistem penilaian (*assessment reform*) agar sesuai dengan pendekatan pembelajaran digital yang lebih dinamis. Bagi pengembang kurikulum, desain pembelajaran sebaiknya berbasis kompetensi (*competency-based design*), menyediakan jalur pembelajaran yang fleksibel sesuai gaya belajar siswa, serta mengaitkan materi dengan konteks dunia nyata (*real-world connection*). Sementara itu, guru perlu meningkatkan literasi digital melalui pelatihan yang berkelanjutan, mengembangkan keterampilan memfasilitasi pembelajaran berbasis eksplorasi, serta terus memperbarui pengetahuan mengenai teknologi dan metode pembelajaran yang inovatif.

SIMPULAN

Berdasarkan systematic literature review yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa simulasi matematika digital memberikan manfaat signifikan dalam menumbuhkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif pada siswa SMA. Simulasi digital terbukti efektif meningkatkan kemampuan berpikir kritis melalui :

1) Pemecahan masalah kontekstual yang memungkinkan siswa menganalisis, mengevaluasi, dan membuat keputusan rasional. Platform seperti PhET Interactive Simulations yang telah melayani lebih dari satu miliar simulasi menunjukkan keberhasilan pendekatan visual-interaktif dalam pembelajaran matematika. 2) Dari aspek kreativitas, simulasi matematika digital menciptakan lingkungan pembelajaran yang mendorong divergent thinking dan experimental learning. 3) Implementasi simulasi matematika digital juga menghasilkan transformasi paradigma pembelajaran. 4) Mengubah peran siswa dari passive receiver menjadi active constructor, dan guru dari information provider menjadi learning facilitator. 5) Efektivitas pedagogis yang terbukti meliputi peningkatan komunikasi, pengurangan kejenuhan belajar, dan fasilitasi pemahaman konsep abstrak melalui visualisasi interaktif. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dan praktis yang signifikan bagi pengembangan pembelajaran matematika yang lebih efektif dan inovatif di tingkat SMA, serta menjadi referensi penting bagi stakeholder pendidikan dalam memanfaatkan teknologi digital untuk meningkatkan kualitas pembelajaran.

REFERENSI

- Abu Bakar, & Qomariah, N. S. (2023). *Buku ajar komprehensif konsep dasar keperawatan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- AK Fatira, M., Ferawati, Darmayanti, S., Nendissa, J. S., & Handayani, S. F. (2021). *Pembelajaran digital*. Bandung: Widina Bhakti Persada Bandung.
- Arif, M. (2017). *Pemodelan sistem*. Yogyakarta: Deepublish.
- Dwiprabowo, A. (2024). *Merumuskan gagasan inovatif dan menemukan peluang tersembunyi*. Jakarta: Penerbit Inovasi Nusantara.
- Elsabrina, U. R., Hanggara, G. S., & Sancaya, S. A. (2022). Peningkatan kemampuan berpikir kritis siswa melalui layanan bimbingan kelompok dengan teknik creative problem solving. *Prosiding Konseling Kearifan Nusantara (KKN)*, 2, 502–514. <https://doi.org/10.29407/js0c5d09>
- Gusteti, U. M. (2024). *Era digital dalam kelas matematika: Menggabungkan teknologi dengan alat peraga tradisional*. Sumedang: CV. Mega Press Nusantara.
- Harsari, N. (2024). *Dasar-dasar desain grafis: Teori dan panduan dasar bagi pemula*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Hartati, T., Nurzaman, I., Febriyanto, B., Suhendra, I., & Fatanah, N. (2019). *Panduan berpikir kritis dan kreatif dalam pembelajaran Bahasa Indonesia bagi guru*. Garut: Cahaya Smart Nusantara.
- Hasbullah. (2021). Kurikulum Pendidikan Guru: Metode Simulasi dalam Pembelajaran Di Masa Pandemi. *ADAARA: Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*, 11(2), 155–162.

- Isrok'atun, Hanifah, N., Maulana, & Suhaebar, I. (2020). *Pembelajaran matematika dan sains secara integratif melalui situation-based learning*. Sumedang: UPI Sumedang Press.
- Khairunnisa, G. F., & Ilmi, Y. I. N. (2020). Media pembelajaran matematika konkret versus digital: Systematic literature review di era revolusi industri 4.0. *Jurnal Tadris Matematika*, 3(2), 131–140. <https://doi.org/10.21274/jtm.2020.3.2.131-140>
- Khotimah, K. B. (2015). *Teori simulasi dan pemodelan: Konsep, aplikasi dan terapan*. Ponorogo: CV. Wade Group.
- Kurniati, R., Dahlan, T., Madubun, M. F., Afifa, N. R., & Lubis, H. (2025). *Pendidikan matematika*. Sumatera Barat: Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Laksana, D. S. (2016). *Magic mathematic sebagai media pembangun semangat belajar anak*. Ponorogo: CV. WADE GROUP.
- Lismaya, L. (2019). *Berpikir kritis & PBL (Problem Based Learning)*. Surabaya: Media Sahabat Cendekia.
- Lokantara, W. G. I. (2020). *Membangun ruang kreatif di era digital: Memberdayakan ide, kreativitas, dan potensi*. Yogyakarta: CV. Budi Utama.
- Lubis, S. S. W. (2017). Keterampilan menulis esai dalam pembentukan berpikir kritis mahasiswa prodi PGMI UIN Ar-Raniry Banda Aceh. *PIONIR: Jurnal Pendidikan*, 6(2). <https://doi.org/10.22373/pjp.v6i2.3338>
- Maulana. (2017). *Konsep dasar matematika dan pengembangan kemampuan berpikir kritis dan kreatif*. Sumedang: UPI Sumedang Press.
- Munandar, A., & Hardi, R. (2023). *Model Simulasi dalam Pembelajaran: Teori dan Praktik*. Jakarta: Mitra Edukasi.
- Muzaini, M. C., Najib, M., Mahmudah, A., & Nisa, A. K. (2023). Implementasi metode simulasi berbasis teknologi informasi dan komunikasi dalam menumbuhkan keaktifan belajar peserta didik di madrasah ibtidaiyah. *PIONIR: Jurnal Pendidikan*, 12(1), 77–95. <https://doi.org/10.22373/pjp.v12i1.17573>
- Puspita, K. (2024). *Panduan praktis untuk berpikir kritis dan analitis*. Yogyakarta: Victory Pustaka Media.
- Puspita, W. R., & Hasanudin, C. (2024, June). Strategi untuk meningkatkan kemampuan berhitung dasar matematika siswa sekolah dasar melalui metode drill. In *Seminar Nasional dan Gelar Karya Produk Hasil Pembelajaran* (Vol. 2, No. 1, pp. 1552–1561). <https://prosiding.ikipgribojonegoro.ac.id/index.php/SNGK/article/view/2585>

- Rahmah, N. (2013). Hakikat pendidikan matematika. *Al-Khwarizmi: Jurnal Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 1(2), 1–10. <https://doi.org/10.24256/jpmipa.v1i2.88>
- Rahmaniah, N., Oktaviani, M. A., Arifin, F., Fitriyani, & Patras, E. Y. (2023). *Berpikir kritis dan kreatif: Teori dan implementasi praktis dalam pembelajaran*. Jakarta Selatan: Publica Indonesia Utama.
- Rahayu, S. (2015). Model simulasi dalam mata kuliah strategi pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 1(2), 118–122. <https://doi.org/10.29303/jpft.v1i2.246>
- Samura, A. O. (2019). Kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis melalui pembelajaran berbasis masalah. *MES: Journal of Mathematics Education and Science*, 5(1), 20–28. <https://jurnaluisu.ac.id/index.php/mesuisu>
- Shopa, M. B., & Sakti, S. (2021). *Pemodelan dan simulasi berbasis agen untuk sistem kompleks sosioteknikal: Konsep, metode, dan aplikasi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Siregar, K. (2016). *Simulasi dan pemodelan: Aplikasi untuk keteknikan pertanian*. Yogyakarta: Deepublish.
- Surya, H., & Indriyani, N. R. (2011). *Strategi jitu mencapai kesuksesan belajar*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Sutirna. (2021). *Bimbingan dan konseling (Bagi guru & calon guru mata pelajaran)*. Yogyakarta: Deepublish.
- Syofyan, H. (2023). *Integrasi pendidikan karakter dalam pembelajaran IPA menuju pembentukan profil pelajar Pancasila*. Yogyakarta: CV. Budi Utama.
- Syarifuddin, & Utari, D. E. (2022). *Media pembelajaran (dari masa konvensional hingga masa digital)*. Palembang: Bening Media Publishing.
- Wahab, A., Junaedi, Efendi, D., Prastyo, H., & Wicaksono, A. (2021). *Media pembelajaran matematika*. Aceh: Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Windyarani, S. (2019). *Pembelajaran berbasis konteks dan kreativitas: Strategi untuk membelajarkan sains di abad 21*. Yogyakarta: CV. Budi Utama.
- Wulandari, A. P., Salsabila, A. A., Cahyani, K., Nurazizah, T. S., & Ulfiah, Z. (2023). Pentingnya Media Pembelajaran dalam Proses Belajar Mengajar. *Journal on Education*, 5(2), 3928–3936. <https://doi.org/10.31004/joe.v5i2.1074>
- Yunita, Y. (2007). *Gaya bahasa personifikasi dalam lirik lagu album Romantic Rhapsody pada grup musik ADA Band (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta)*. <https://eprints.ums.ac.id/id/eprint/10611>

Umaroh, C., & Hasanudin, C. (2024, June). Teori bilangan: Mengenalkan jenis-jenis bilangan pada anak usia dasar. In *Seminar Nasional dan Gelar Karya Produk Hasil Pembelajaran* (Vol. 2, No. 1, pp. 370–378). <https://prosiding.ikipgribojonegoro.ac.id/index.php/SNGK/article/view/2457/pdf>