

## Analisis Literasi Digital Siswa dalam Pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV) Berbantuan Simulasi PhET

Noor Fika\*, Siti Khabibah, Nia Wahyu Damayanti  
Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*Corresponding Author: [25030785032@mhs.unesa.ac.id](mailto:25030785032@mhs.unesa.ac.id)  
Dikirim: 25-04-2026; Direvisi: 05-05-2026; Diterima: 07-05-2026

**Abstrak:** Perkembangan teknologi digital dalam pendidikan menuntut penggunaan media pembelajaran interaktif yang mampu mendukung pemahaman konsep secara bermakna. Simulasi PhET memiliki potensi dalam memfasilitasi pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel melalui representasi visual dan aktivitas eksploratif. Dalam praktiknya, pemanfaatan teknologi tersebut belum sepenuhnya diimbangi dengan kemampuan literasi digital siswa, terutama dalam memahami, menyeleksi, dan menghubungkan informasi dengan konsep matematis. Hal ini menyebabkan pembelajaran cenderung berhenti pada pemahaman visual tanpa diikuti penguasaan konsep secara mendalam. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan literasi digital siswa kelas VII dalam pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel berbantuan simulasi PhET. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus tunggal. Subjek penelitian terdiri atas tiga siswa kelas VII di SMP Negeri 3 Penajam Paser Utara yang dipilih secara *purposive*. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa literasi digital siswa masih bervariasi. Siswa lebih mudah mengenali indikator visual dibandingkan memahami makna simbolik. Dalam menafsirkan representasi timbangan, siswa cenderung memaknai keseimbangan secara visual dan belum sepenuhnya mengaitkannya dengan konsep aljabar. Selain itu, siswa masih mengalami kesulitan dalam menyeleksi informasi dan mengelola hasil eksplorasi secara sistematis. Meskipun demikian, sebagian siswa mulai mampu menghubungkan representasi visual dengan konsep matematis. Secara umum, simulasi PhET mendukung proses eksplorasi, tetapi pemahaman konseptual masih memerlukan bimbingan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan strategi pembelajaran yang membantu siswa mengaitkan hasil eksplorasi dengan konsep matematis secara lebih mandiri.

**Kata Kunci:** literasi digital; persamaan linear satu variabel; simulasi PhET.

**Abstract:** The development of digital technology in education demands the use of interactive learning media that can support meaningful conceptual understanding. PhET simulations have the potential to facilitate learning of Linear Equations of One Variable through visual representations and exploratory activities. In practice, the use of this technology has not been fully balanced with students' digital literacy skills, especially in understanding, selecting, and connecting information with mathematical concepts. This causes learning to tend to stop at visual understanding without being followed by in-depth conceptual mastery. This study aims to describe the digital literacy of seventh-grade students in learning Linear Equations of One Variable assisted by PhET simulations. The study used a qualitative approach with a single case study design. The research subjects consisted of three seventh-grade students at SMP Negeri 3 Penajam Paser Utara who were selected purposively. Data were collected through observation, interviews, and documentation. The results showed that students' digital literacy still varies. Students find it easier to recognize visual indicators than to understand symbolic meanings. In interpreting balance representations, students tend to interpret balance visually and have not fully linked it to algebraic concepts. In addition, students still experience difficulties in selecting information

and systematically managing exploration results. Despite this, some students began to be able to connect visual representations with mathematical concepts. In general, the PhET simulation supported the exploration process, but conceptual understanding still required guidance. Future research is recommended to develop learning strategies that help students connect exploration results with mathematical concepts more independently.

**Keywords:** digital literacy; one variable linear equation; PhET simulation.

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi pada era digital telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, sehingga setiap individu, termasuk siswa, dituntut untuk memiliki kompetensi literasi digital (OECD, 2019; UNESCO, 2018). Literasi digital tidak hanya dimaknai sebagai kemampuan mengoperasikan perangkat teknologi, tetapi juga meliputi kecakapan dalam menelusuri, menilai kredibilitas, serta memanfaatkan informasi digital secara efektif dan bertanggung jawab (Carretero et al., 2017; Siddiq et al., 2016). Dalam kegiatan pembelajaran, literasi digital memegang peranan strategis dalam mendukung pemahaman konsep, pengembangan kemampuan berpikir kritis, serta penyelesaian masalah dengan bantuan teknologi (Falloon, 2020; Voogt et al., 2011). Sejalan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21, pemanfaatan teknologi menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari proses belajar mengajar (OECD, 2019). Tingkat literasi digital siswa dapat dijadikan sebagai salah satu indikator penting dalam menilai keberhasilan penerapan pembelajaran berbasis teknologi, termasuk pada mata pelajaran matematika (Lopez et al., 2020; Redecker, 2017)

Dalam praktik pembelajaran di sekolah, kemampuan literasi digital siswa masih menunjukkan berbagai kendala, terutama dalam mengintegrasikan penggunaan teknologi dengan pemahaman konsep matematika secara bermakna (Falloon, 2020). Banyak siswa yang mampu menggunakan perangkat digital secara teknis, tetapi belum mampu menginterpretasikan informasi yang ditampilkan atau menggunakannya untuk membangun pemahaman konseptual (Carretero et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa literasi digital siswa belum berkembang secara optimal, khususnya pada aspek kognitif dan pemecahan masalah.

Permasalahan tersebut juga ditemukan pada pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV), yang merupakan bagian dari materi aljabar dasar yang sering dianggap sulit oleh siswa karena melibatkan konsep abstrak dan representasi simbolik (Veith et al., 2023). Pembelajaran yang masih berfokus pada prosedur tanpa pemahaman konseptual menyebabkan siswa cenderung melakukan kesalahan dalam membentuk dan menyelesaikan model matematika serta kurang memahami makna kesetaraan dalam persamaan (Ario et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang mampu memvisualisasikan konsep tersebut secara lebih konkret dan bermakna.

Simulasi PhET merupakan media pembelajaran digital berbasis simulasi interaktif yang dikembangkan oleh University of Colorado Boulder. Media ini dirancang untuk memberikan pengalaman belajar melalui eksplorasi visual dan interaksi langsung, sehingga membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak secara lebih konkret. Karakteristik visual dan interaktif dari simulasi PhET memungkinkan siswa membangun pemahaman melalui pengamatan dan manipulasi variabel secara langsung. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan



simulasi PhET dalam pembelajaran berbasis inkuiri maupun eksploratif dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa, terutama dalam menghubungkan konsep abstrak dengan fenomena yang dapat diamati (Kamilah et al., 2025). Selain itu, PhET juga mendukung keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran serta membantu mengurangi kesulitan dalam memahami representasi konsep yang kompleks (Rahmawati et al., 2022).

Penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa simulasi interaktif PhET secara signifikan meningkatkan pemahaman matematika siswa tentang pecahan (Arifin et al., 2022). Pembelajaran IPA dengan menggunakan media simulasi PhET dapat meningkatkan kemampuan *Computational Thinking* peserta didik (Ngandoh, 2022). Penelitian lain yang dilakukan oleh Layson (2022) dan Parthiban J & Dr. Leo Stanly S (2024) juga menunjukkan bahwa simulasi PhET meningkatkan keterampilan proses sains siswa. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, sebagian besar masih berfokus pada hasil kognitif siswa seperti meningkatkan pemahaman siswa dan keterampilan proses sains. Sementara dalam aspek literasi digital siswa belum banyak dikaji secara spesifik terutama dalam konteks pembelajaran matematika.

Literasi digital merupakan kemampuan individu dalam memanfaatkan teknologi dan media digital untuk mengakses, mengevaluasi, mengelola, serta menghasilkan informasi secara kritis dan bertanggung jawab. Kemampuan ini tidak hanya mencakup keterampilan teknis dalam mengoperasikan perangkat, tetapi juga melibatkan kecakapan memahami, menyeleksi, serta menggunakan informasi secara etis dalam berbagai konteks kehidupan. Penggunaan media digital, alat komunikasi, dan jaringan internet perlu dilakukan secara bijak, cermat, serta selaras dengan norma sosial dan ketentuan hukum yang berlaku guna mendukung efektivitas komunikasi dan interaksi (Duryat & Arifin, 2024; Raharjo, 2024; Sari et al., 2024; Suherdi et al., 2021). Literasi digital berkaitan erat dengan kemampuan menemukan, menganalisis, serta membangun pengetahuan baru melalui pemanfaatan teknologi secara strategis dan reflektif (Tinmaz et al., 2022).

Perkembangan teknologi yang semakin pesat menjadikan ruang digital sebagai bagian integral dari kehidupan sehari-hari, baik dalam ranah sosial maupun pendidikan. Kondisi ini menuntut setiap individu memiliki kesiapan beradaptasi terhadap transformasi digital yang terus berlangsung. Dalam konteks pendidikan, literasi digital dipandang sebagai kompetensi esensial yang mendukung keberhasilan belajar, pengembangan keterampilan abad ke-21, serta kesiapan menghadapi masyarakat berbasis pengetahuan (Komarudin et al., 2024). Lembaga pendidikan, oleh karena itu, memegang peran strategis dalam memfasilitasi pengembangan literasi digital melalui integrasi teknologi dalam proses pembelajaran yang bermakna (White, 2015; Zhang, 2025).

Lebih lanjut, literasi digital tidak berdiri sebagai keterampilan tunggal, melainkan beririsan dengan kemampuan kognitif lain seperti literasi informasi, literasi media, serta penalaran disipliner. Kompetensi digital berkontribusi terhadap pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi dalam pembelajaran STEM (DeCoito et al., 2024). Sejalan dengan itu, studi yang dilakukan oleh Semenov, Abylkassymova and Polikarpov (2023) menunjukkan bahwa interaksi dengan teknologi digital dapat memperkaya proses konstruksi pengetahuan matematis apabila diintegrasikan dengan pendekatan pedagogis yang tepat.



Hasil sintesis penelitian mutakhir juga menempatkan literasi digital sebagai faktor yang saling berkaitan dengan performa akademik dan perilaku belajar siswa. Penelitian yang dilakukan oleh Wei (2023) mengungkapkan bahwa kualitas literasi digital memengaruhi cara peserta didik menavigasi lingkungan belajar, menyeleksi informasi, serta mengambil keputusan kognitif selama proses pemecahan masalah. Sehingga, literasi digital tidak hanya berfungsi sebagai keterampilan operasional, tetapi juga sebagai fondasi epistemik dalam membangun pemahaman konseptual.

Secara lebih spesifik dalam pendidikan matematika, literasi digital berperan dalam memediasi interaksi antara siswa dan representasi matematis berbasis teknologi. Media digital interaktif mampu menjembatani pemahaman konkret menuju abstrak, terutama ketika siswa diberi kesempatan untuk memanipulasi objek virtual secara eksploratif (Pradana et al., 2020). Oleh sebab itu, pengembangan literasi digital dalam pembelajaran matematika tidak hanya diarahkan pada penguasaan perangkat, tetapi juga pada kemampuan memaknai representasi, menalar hubungan, serta memverifikasi solusi secara reflektif.

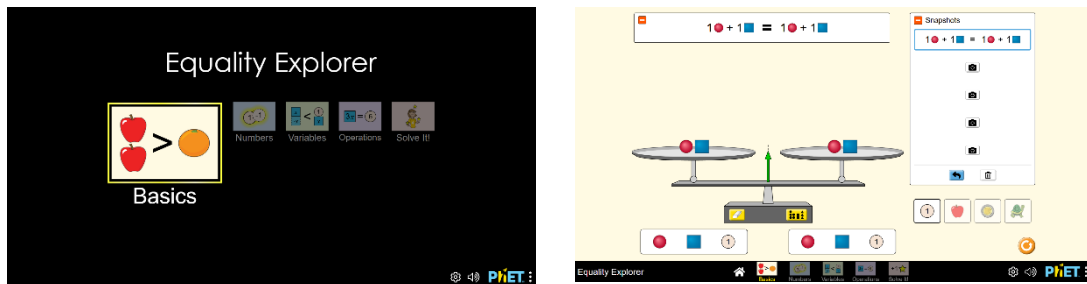
Literasi digital berperan penting dalam mendukung keberhasilan pembelajaran matematika, khususnya dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan penalaran matematis peserta didik. Melalui literasi digital, peserta didik mampu menyeleksi informasi yang relevan, mengevaluasi keakuratan sumber, serta memanfaatkan media digital untuk memperdalam pemahaman konsep (Muliawati & Kusuma, 2019). Literasi digital juga mendorong penggunaan teknologi secara bertanggung jawab dalam aktivitas akademik.

Dalam praktiknya, efektivitas integrasi teknologi sangat dipengaruhi oleh kesiapan literasi digital pengguna. Literasi digital berkorelasi dengan keterampilan penalaran dalam pembelajaran STEM, termasuk matematika (Govender, 2025). Pemanfaatan alat digital dapat memperkuat kemampuan problem solving dan representasi matematis apabila digunakan secara strategis (Gunčaga & Záhorec, 2024).

Simulasi PhET merupakan media pembelajaran berbasis komputer yang dikembangkan untuk mendukung proses belajar sains dan matematika melalui lingkungan interaktif. Simulasi ini dirancang dengan karakteristik visual yang dinamis dan memungkinkan pengguna untuk melakukan eksplorasi secara langsung terhadap konsep yang dipelajari. Melalui interaksi tersebut, siswa dapat membangun pemahaman konsep secara lebih bermakna karena mereka terlibat aktif dalam proses pembelajaran, bukan hanya menerima informasi secara pasif. Selain itu, penggunaan simulasi PhET juga dinilai mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan hasil belajar karena memberikan pengalaman belajar yang menyerupai eksperimen nyata dalam bentuk virtual (Potane & Bayeta, 2018).

Berikut adalah tampilan dari *PhET Equality Explorer* untuk pembelajaran matematika materi Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV) yang bersumber langsung dari website (<https://phet.colorado.edu>).





**Gambar 1.** Tampilan Simulasi “*equality explorer*”

Indikator literasi digital adalah ukuran untuk menilai kemampuan individu atau kelompok dalam mengakses, memahami, dan memanfaatkan teknologi digital. Dalam pendidikan, indikator ini menjadi dasar evaluasi capaian sekaligus identifikasi kesenjangan kompetensi, yang tidak hanya mencakup keterampilan teknis, tetapi juga aspek kognitif, etika, kolaborasi, dan kreativitas (Sapiah et al., 2025). Di Indonesia, indikator tersebut mengacu pada kerangka kompetensi TIK Kemendikbud, baik pada guru maupun peserta didik, dan penerapannya perlu disesuaikan dengan jenjang, karakteristik, serta konteks lokal agar pemantauan literasi digital dapat meningkatkan kualitas pembelajaran berbasis teknologi (Kemendikbud, 2021; Li et al., 2025).

Indikator yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah siswa dapat mengidentifikasi informasi visual dan simbolik pada tampilan simulasi sebagai data matematis yang relevan, siswa dapat menafsirkan representasi timbangan sebagai model kesetaraan dua ruas persamaan linear satu variabel, siswa dapat menyeleksi informasi yang relevan dari simulasi untuk menentukan operasi penyelesaian persamaan. Siswa dapat mengelola hasil eksplorasi simulasi untuk menjelaskan langkah penyelesaian PLSV secara logis dan sistematis.

Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus analisis literasi digital siswa dalam pembelajaran matematika berbantuan simulasi PhET, khususnya pada materi Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV). Penelitian ini dilatarbelakangi oleh masih terbatasnya kemampuan literasi digital siswa dalam memanfaatkan teknologi pembelajaran secara optimal, terutama dalam menghubungkan hasil eksplorasi digital dengan konsep matematis secara tepat. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara penggunaan media digital dan pencapaian pemahaman konseptual yang diharapkan, sehingga penelitian ini perlu dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan secara mendalam literasi digital siswa dalam proses pembelajaran PLSV berbantuan simulasi PhET. Penelitian ini tidak hanya menilai hasil belajar, tetapi mengkaji bagaimana siswa mengidentifikasi, menafsirkan, menyeleksi, dan mengelola informasi digital selama proses eksplorasi. Selain itu, integrasi indikator literasi digital dengan aktivitas matematis dalam simulasi memberikan gambaran kontekstual mengenai keterkaitan antara penggunaan teknologi dan pemahaman konsep aljabar. Dengan pendekatan studi kasus kualitatif, penelitian ini juga mengungkap proses berpikir siswa secara lebih rinci, sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian literasi digital dalam pembelajaran matematika.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus. Pendekatan kualitatif digunakan ketika permasalahan penelitian belum dapat dijelaskan secara pasti melalui variabel yang terukur, sehingga diperlukan penggalian data secara mendalam dari partisipan. Dalam pendekatan ini, data diperoleh secara langsung dari sumber utama untuk memahami makna dan pengalaman secara kontekstual, bukan untuk melakukan generalisasi temuan (Creswell, J. W., & Poth, 2018). Desain studi kasus yang digunakan adalah *single case study* (studi kasus tunggal), yaitu penelitian yang berfokus pada satu kasus yang dibatasi secara jelas (*bounded system*), seperti individu, kelompok, atau kelas tertentu, yang dikaji secara mendalam dalam konteks nyata (Robert K. Yin, 2018). Pada penelitian ini, fokus diarahkan pada literasi digital siswa dalam satu kelas, yaitu kelas VII di satu sekolah pada pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV).

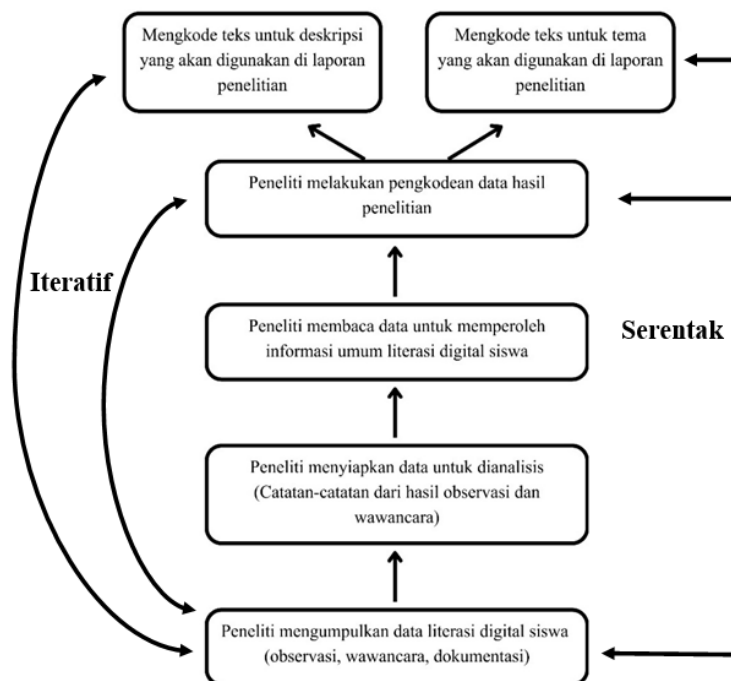
Tujuan penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan secara mendalam literasi digital siswa dalam pembelajaran PLSV berbantuan simulasi PhET. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kemampuan siswa dalam mengenali informasi, menafsirkan representasi, menyeleksi langkah penyelesaian, serta mengelola hasil eksplorasi digital. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengungkap bagaimana siswa mengaitkan hasil eksplorasi dalam simulasi dengan konsep matematis yang dipelajari. Tujuan ini menjadi acuan dalam proses analisis data hingga penarikan kesimpulan.

Penelitian ini bersifat deskriptif karena bertujuan menggambarkan fenomena secara rinci dalam bentuk narasi, bukan angka. Lokasi penelitian berada di SMP Negeri 3 Penajam Paser Utara, Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposeful sampling*, yaitu pemilihan subjek secara sengaja berdasarkan kriteria tertentu yang sesuai dengan tujuan penelitian (Creswell, J. W., & Poth, 2018). Subjek penelitian terdiri atas tiga siswa yang mewakili kategori kemampuan rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan hasil penilaian sebelumnya.

Teknik pengumpulan data meliputi observasi, wawancara, dan dokumentasi. Pada instrumen observasi, indikator yang diamati meliputi: (1) kemampuan siswa mengenali informasi yang ditampilkan dalam simulasi, seperti simbol, angka, dan representasi visual; (2) kemampuan siswa menafsirkan makna dari representasi yang muncul, khususnya dalam memahami keseimbangan pada model timbangan; (3) kemampuan siswa dalam memilih dan menentukan langkah yang tepat saat melakukan eksplorasi; serta (4) kemampuan siswa dalam mengelola hasil eksplorasi, seperti mencatat atau menyusun informasi yang diperoleh secara sistematis. Pada instrumen wawancara, indikator difokuskan untuk menggali pemahaman lebih mendalam, yaitu: (1) cara siswa menjelaskan kembali informasi yang diperoleh dari simulasi; (2) alasan siswa dalam menafsirkan representasi tertentu; (3) pertimbangan siswa dalam menentukan langkah penyelesaian; serta (4) kemampuan siswa dalam menghubungkan hasil eksplorasi dengan konsep matematis yang dipelajari. Pada instrumen dokumentasi, indikator yang dikumpulkan meliputi: (1) rekaman aktivitas siswa saat menggunakan simulasi PhET; (2) hasil kerja atau catatan siswa selama proses eksplorasi; serta (3) bukti visual lain yang menunjukkan proses interaksi siswa dengan simulasi. Data dokumentasi ini digunakan untuk memperkuat dan memvalidasi temuan dari observasi dan wawancara.



Analisis data kualitatif dilakukan secara bertahap dan bersifat fleksibel, meliputi pengorganisasian data, proses pengkodean awal, pengembangan kategori dan tema, penyajian data, serta penafsiran makna temuan dengan mempertimbangkan refleksi peneliti dan dukungan literatur (Creswell, J. W., & Poth, 2018).



**Gambar 2.** Bagan Proses Analisis Data Literasi Digital Siswa dengan Menggunakan PHET

Analisis data pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan pengkodean secara bertahap. Tahap pertama adalah *open coding*, yaitu proses mengidentifikasi dan memberi tanda pada data hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi yang berkaitan dengan indikator literasi digital. Selanjutnya dilakukan *axial coding* dengan mengelompokkan kode-kode yang memiliki keterkaitan makna ke dalam kategori tertentu. Tahap terakhir adalah *selective coding*, yaitu menyusun dan mengintegrasikan kategori tersebut menjadi tema-tema utama yang menggambarkan kemampuan literasi digital siswa dalam pembelajaran PLSV berbantuan simulasi PhET.

Keabsahan data dijaga melalui triangulasi metode dengan membandingkan temuan dari observasi, wawancara, dan dokumentasi. Selain itu, dilakukan *member checking* dengan meminta konfirmasi dari subjek penelitian terhadap hasil interpretasi peneliti. Peneliti juga meningkatkan ketelitian melalui pengamatan yang dilakukan secara berulang untuk memastikan konsistensi dan keakuratan data yang diperoleh.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Berikut adalah hasil penelitian yang telah dilakukan untuk tiga subjek yang telah ditentukan sebelumnya yaitu Subjek 1 (S1), Subjek 2 (S2), dan Subjek 3 (S3).

Hasil penelitian ini mendeskripsikan kemampuan literasi digital siswa kelas VII dalam pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV) berbantuan simulasi PhET berdasarkan empat indikator yang telah ditetapkan.

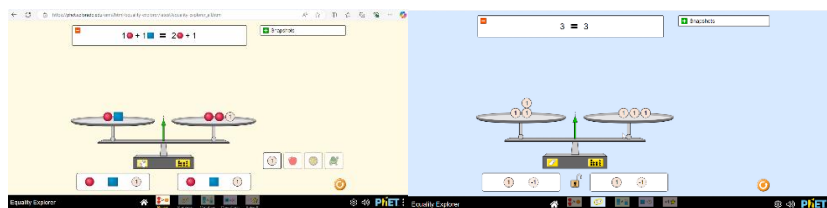


**Gambar 3.** Subjek Penelitian Menggunakan Simulasi PhET

### Kemampuan Mengidentifikasi Informasi Visual dan Simbolik

Ketiga subjek memperlihatkan tingkat kemampuan yang bervariasi dalam mengenali serta memahami informasi visual dan simbolik yang terdapat pada simulasi PhET. Perbedaan tersebut tampak dari cara masing-masing subjek menafsirkan objek pada timbangan, membaca indikator visual, serta memahami simbol yang berkaitan dengan konsep kesetaraan.

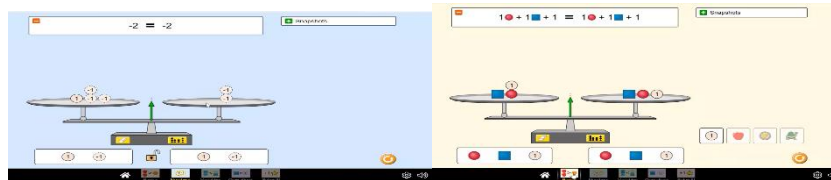
S1 memperlihatkan pemahaman awal bahwa objek pada timbangan memiliki nilai tertentu. Hal ini terlihat pada gambar 4, di mana subjek mencoba menyeimbangkan kedua sisi dengan menambahkan objek pada sisi yang lebih ringan hingga posisi timbangan sejajar. S1 juga mulai mengaitkan kondisi seimbang dengan munculnya tanda sama dengan ( $=$ ) pada tampilan simulasi, yang dimaknai sebagai indikator bahwa kedua ruas telah setara, sebagaimana diungkapkan melalui pernyataan “*karena ada tanda sama dengan*”. Namun demikian, pada tahap awal penggunaan simulasi, S1 masih menghadapi kendala teknis, seperti kesulitan dalam memindahkan dan menempatkan objek secara tepat pada timbangan. Meskipun begitu, berdasarkan hasil rekaman layar yang ditampilkan pada gambar, terlihat bahwa S1 telah mulai mampu mengenali hubungan antara representasi visual (timbangan) dan simbolik (tanda sama dengan) dalam konteks persamaan linear satu variabel, meskipun pemahamannya masih berada pada tahap awal perkembangan.



**Gambar 4.** Hasil rekam layar S1 dalam menggunakan simulasi PhET

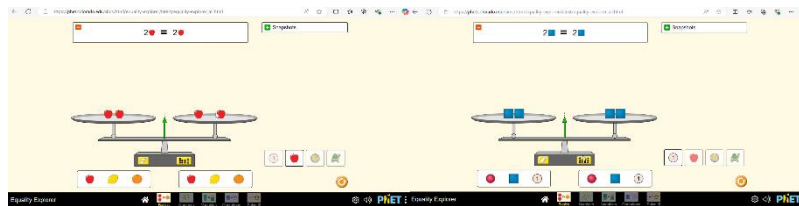
S2 menunjukkan kemampuan dalam mengenali informasi visual yang berkaitan dengan konsep keseimbangan pada simulasi, khususnya melalui indikator panah berwarna hijau yang muncul di bagian tengah timbangan. Berdasarkan tampilan pada gambar 5, S2 mengamati bahwa perubahan warna panah menjadi hijau menandakan posisi kedua sisi telah seimbang. Hal ini sejalan dengan pernyataan subjek bahwa “*kalau panahnya hijau berarti seimbang*”. Pada prosesnya, S2 cenderung berfokus pada petunjuk visual tanpa mengaitkannya secara mendalam dengan makna simbolik yang menyertainya. Terlihat dari penggunaan simulasi, subjek belum mengeksplorasi lebih lanjut hubungan antara jumlah atau jenis objek pada kedua sisi dengan bentuk persamaan yang ditampilkan. Pada tampilan lain terlihat bahwa S2 dapat mencapai

kondisi seimbang secara visual, tetapi belum mampu menjelaskan keterkaitan matematis yang mendasari kondisi tersebut. Berdasarkan hasil rekaman layar yang ditunjukkan pada gambar 5, S2 dapat dikatakan telah mampu mengidentifikasi informasi pada aspek visual, tetapi pemahaman terhadap aspek simbolik, khususnya dalam mengaitkan keseimbangan dengan konsep persamaan linear satu variabel, masih belum berkembang secara optimal.



**Gambar 5.** Hasil Rekam Layar S2 dalam Menggunakan Simulasi PhET

Berbeda dengan S1 dan S2, S3 menunjukkan kemampuan yang lebih berkembang dalam memahami informasi visual dan simbolik pada simulasi. Berdasarkan gambar, S3 tidak hanya mengenali indikator visual seperti panah hijau dan tanda sama dengan, tetapi juga mencoba berbagai variasi objek hingga mencapai keseimbangan. S3 menjelaskan bahwa kondisi seimbang terjadi karena nilai pada kedua sisi sama, sebagaimana pernyataan “*karena nilainya sama di kiri dan kanan*”. Hal ini menunjukkan bahwa S3 telah mampu mengaitkan representasi visual dengan makna simbolik. S3 dapat dikatakan telah memenuhi indikator kemampuan mengidentifikasi informasi visual dan simbolik secara optimal.



**Gambar 6.** Hasil Rekam Layar S3 dalam Menggunakan Simulasi PhET

### **Kemampuan Menafsirkan Representasi Timbangan sebagai Model Kesetaraan**

Kemampuan siswa dalam menafsirkan timbangan sebagai representasi kesetaraan menunjukkan variasi pada tiap subjek. Perbedaan ini terlihat dari cara subjek memahami hubungan antara kondisi seimbang pada timbangan dengan makna kesetaraan dalam bentuk matematis.

S1 menunjukkan adanya pemahaman awal bahwa kondisi timbangan yang seimbang merepresentasikan hubungan yang setara antara kedua sisi. Hal ini tampak ketika subjek menyadari bahwa keseimbangan tercapai setelah jumlah atau jenis objek pada kedua sisi disesuaikan. Subjek juga mengaitkan kondisi tersebut dengan munculnya simbol kesetaraan pada layar, sebagaimana diungkapkan: “*karena ada tanda sama dengan*” sebagaimana yang tampak pada gambar 4. Meskipun demikian, pemahaman yang ditunjukkan masih bersifat visual, karena subjek belum mampu menjelaskan lebih lanjut hubungan tersebut dalam bentuk konsep aljabar, seperti menentukan nilai variabel secara tepat. S1 telah mulai menafsirkan timbangan sebagai model kesetaraan, namun masih terbatas pada pengamatan visual.

S2 menunjukkan pemahaman yang lebih terbatas dalam menafsirkan konsep kesetaraan. Subjek cenderung memaknai keseimbangan hanya berdasarkan indikator visual tanpa mengaitkannya dengan hubungan matematis. Hal ini terlihat pada gambar 5 ketika subjek menyatakan bahwa timbangan seimbang ditandai oleh panah

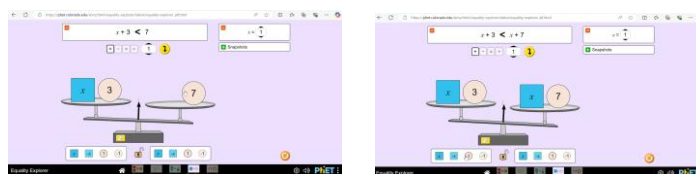
berwarna hijau, sebagaimana diungkapkan: “*kalau panahnya hijau berarti seimbang*”. Ketika diminta menjelaskan alasan kesetaraan tersebut, subjek tidak mampu memberikan penjelasan yang mengarah pada konsep matematis atau hubungan antar kedua ruas. Subjek juga tidak memanfaatkan informasi simbolik yang tersedia pada layar untuk memperkuat pemahamannya. Oleh karena itu, S2 belum mampu menafsirkan timbangan sebagai model kesetaraan secara konseptual.

Sementara itu, S3 menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menafsirkan representasi timbangan sebagai model kesetaraan. Hal ini terlihat pada gambar 6, subjek tidak hanya memahami bahwa keseimbangan terjadi ketika kedua sisi memiliki nilai yang sama, tetapi juga mampu menjelaskan alasan tersebut secara sederhana. Hal ini terlihat dari pernyataan subjek: “*karena nilainya sama di kiri dan kanan*”. Subjek juga mencoba berbagai cara untuk menjaga keseimbangan, seperti menambahkan atau mengurangi nilai pada kedua sisi secara bersamaan. Meskipun demikian, dalam beberapa situasi subjek masih mengalami kesulitan dalam menghubungkan representasi tersebut dengan prosedur aljabar yang tepat, sehingga pemahaman yang dimiliki belum sepenuhnya konsisten. S3 dapat dikatakan telah mampu menafsirkan timbangan sebagai model kesetaraan dengan lebih baik, meskipun masih perlu penguatan pada aspek formal matematis.

### Kemampuan Menyeleksi Informasi yang Relevan

Kemampuan dalam menyeleksi informasi yang relevan selama proses penyelesaian Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV) menunjukkan variasi pada ketiga subjek. Perbedaan ini terlihat dari cara subjek memilih langkah, menentukan operasi, serta mempertahankan bentuk persamaan agar tetap sesuai dengan permasalahan yang diberikan.

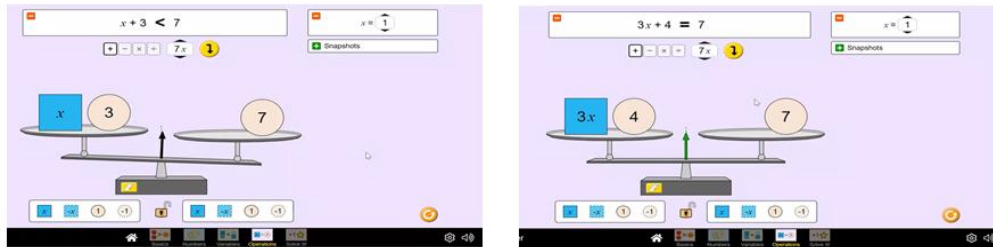
S1 masih mengalami kesulitan dalam menentukan informasi yang relevan untuk menyelesaikan masalah. Hal ini terlihat pada gambar 7 ketika subjek menambahkan elemen pada salah satu sisi timbangan tanpa mempertimbangkan kesetaraan kedua sisi, sehingga mengubah bentuk persamaan awal. S1 sempat mencoba menambahkan variabel di sisi kanan, namun kemudian menyadari bahwa langkah tersebut tidak tepat (“*salah dong bu*”). Meskipun telah mencoba berbagai kemungkinan, langkah yang diambil belum terarah dan belum menjaga prinsip kesetaraan. S1 belum mampu menyeleksi informasi yang relevan secara tepat dalam proses penyelesaian.



**Gambar 7.** Hasil Rekam Layar S1 dalam Menentukan Selesaian  $x + 3 = 7$

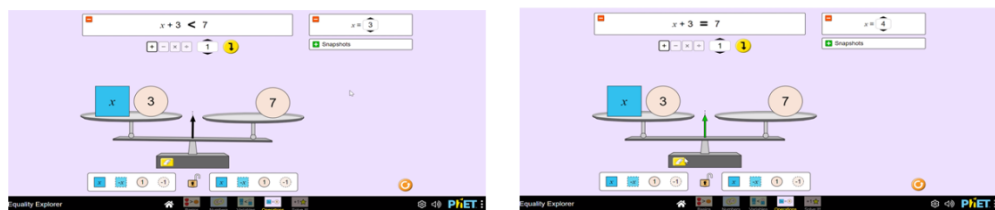
S2 juga menunjukkan kesulitan dalam menyeleksi informasi yang relevan. Berdasarkan gambar 8, subjek cenderung menambahkan nilai pada kedua sisi timbangan hingga tampak seimbang, namun tanpa mempertimbangkan bahwa langkah tersebut mengubah bentuk persamaan awal. S2 lebih berfokus pada tercapainya keseimbangan visual daripada proses yang sesuai dengan konsep aljabar.

Hal ini terlihat ketika subjek menyatakan bahwa kedua sisi “*sama-sama 7*”, meskipun prosedur yang digunakan tidak mempertahankan kesetaraan bentuk persamaan. S2 belum mampu membedakan informasi yang relevan dan tidak relevan dalam menyelesaikan PLSV.



**Gambar 8.** Hasil Rekam Layar S2 dalam Menentukan Selesaian  $x + 3 = 7$

Berbeda dengan S1 dan S2, S3 mulai menunjukkan kemampuan yang lebih tepat dalam menyeleksi informasi yang relevan. Berdasarkan gambar 9, S3 memanfaatkan fitur simulasi untuk menjaga keseimbangan kedua sisi sambil mencoba langkah penyelesaian yang sesuai. Subjek juga mulai menggunakan strategi yang lebih tepat, seperti melakukan pembagian untuk menyederhanakan persamaan yang nampak pada gambar 10, sebagaimana diungkapkan “*sama-sama dibagi 4*”. Meskipun pada awalnya masih mencoba beberapa langkah yang kurang tepat, secara umum S3 telah mampu mengarahkan proses penyelesaian dengan lebih sesuai. Dengan demikian, S3 dapat dikatakan telah mulai memenuhi indikator dalam menyeleksi informasi yang relevan, meskipun belum sepenuhnya konsisten.



**Gambar 9.** Hasil Rekam Layar S3 dalam Menentukan Selesaian  $x + 3 = 7$



**Gambar 10.** Hasil Rekam Layar S3 dalam Menentukan Selesaian  $88 = 4x$

### Kemampuan Mengelola Hasil Eksplorasi Secara Logis dan Sistematis

Kemampuan siswa dalam mengelola hasil eksplorasi secara logis dan sistematis menunjukkan perbedaan pada masing-masing subjek. Perbedaan ini terlihat dari bagaimana subjek merencanakan langkah, mengurutkan proses penyelesaian, serta menjelaskan kembali hasil yang diperoleh selama menggunakan simulasi.

S1 menunjukkan bahwa pengelolaan hasil eksplorasi belum dilakukan secara terstruktur. Dalam proses penyelesaian, subjek cenderung mencoba berbagai kemungkinan tanpa perencanaan yang jelas, sehingga langkah yang diambil tidak berurutan dan seringkali tidak mengarah pada penyelesaian yang tepat. Hal ini terlihat ketika subjek melakukan beberapa percobaan dengan menambahkan elemen

pada timbangan, namun belum mampu menjelaskan alasan dari langkah tersebut. Pada saat diminta menentukan nilai variabel, subjek juga masih mengalami kebingungan dan belum dapat memberikan penjelasan yang runtut. Hal ini terlihat pada gambar 7. Kondisi ini menunjukkan bahwa S1 belum mampu mengelola hasil eksplorasi secara logis dan sistematis.

S2 juga menunjukkan kecenderungan yang serupa. Pada gambar 8, selama proses eksplorasi, subjek melakukan beberapa percobaan dengan menambahkan nilai pada kedua sisi timbangan, namun tanpa strategi yang jelas untuk mencapai tujuan penyelesaian. Subjek lebih berfokus pada tercapainya kondisi seimbang secara visual dibandingkan dengan urutan langkah yang sesuai dengan konsep aljabar. Hal ini terlihat ketika subjek masih bertanya mengenai langkah yang harus dilakukan, seperti *“ini nya diapain bu?”*, yang menunjukkan bahwa subjek belum memiliki perencanaan yang matang dalam menyelesaikan masalah. Dengan demikian, S2 juga belum mampu mengelola hasil eksplorasi secara sistematis.

Berbeda dengan kedua subjek sebelumnya, S3 menunjukkan kemampuan yang lebih berkembang dalam mengelola hasil eksplorasi. Subjek mulai mampu merencanakan dan menjelaskan langkah-langkah penyelesaian secara lebih runtut, terutama pada tahap lanjutan. Hal ini terlihat ketika subjek mengemukakan strategi penyelesaian dengan menyatakan bahwa terdapat beberapa cara yang dapat digunakan, seperti menambahkan atau mengurangi nilai pada kedua sisi timbangan. Selain itu, subjek juga mampu menggunakan operasi yang tepat untuk memperoleh nilai variabel. Ketika peneliti bertanya *“berarti sama-sama dibagi 4 ya?”* subjek menjawab *“iya, agar seimbang”* dalam proses penyelesaian. Hal ini terlihat pada gambar 10. Meskipun pada tahap awal subjek masih memerlukan arahan, kemampuan dalam mengorganisasi langkah penyelesaian sudah mulai terlihat lebih sistematis. S3 dapat dikatakan telah mampu mengelola hasil eksplorasi secara lebih logis dan terstruktur, meskipun belum sepenuhnya konsisten.

Berikut disajikan ringkasan kemampuan literasi digital siswa berdasarkan masing-masing indikator untuk memberikan gambaran yang lebih ringkas mengenai temuan penelitian.

**Tabel 1.** Tabel Ringkasan Kemampuan Literasi Digital Siswa

Indikator Literasi Digital	Subjek 1 (S1)	Subjek 2 (S2)	Subjek 3 (S3)
Mengidentifikasi informasi visual dan simbolik	Mampu mengenali sebagian indikator visual, namun pemahaman simbolik masih terbatas	Mampu mengenali indikator visual, tetapi belum memahami makna simbolik	Mampu mengenali dan mengaitkan indikator visual dengan makna simbolik
Menafsirkan representasi timbangan sebagai kesetaraan	Memahami keseimbangan secara visual, belum mengaitkan dengan konsep aljabar	Memaknai keseimbangan hanya dari tampilan visual tanpa penjelasan matematis	Mampu mengaitkan keseimbangan dengan kesamaan nilai kedua ruas
Menyeleksi informasi yang relevan	Kesulitan menentukan langkah yang sesuai, masih mencoba tanpa arah	Cenderung fokus pada hasil akhir tanpa mempertimbangkan prosedur	Mulai mampu memilih langkah yang sesuai meskipun belum konsisten
Mengelola hasil eksplorasi secara logis dan sistematis	Langkah belum terstruktur dan sulit menjelaskan proses	Proses belum sistematis dan masih bergantung pada arahan	Mulai menyusun langkah secara runtut meskipun masih perlu penguatan



## Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa cenderung lebih mudah mengenali elemen visual dibandingkan memahami makna simbolik yang ditampilkan dalam simulasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kemampuan literasi digital siswa masih berada pada tahap awal, yaitu terbatas pada aktivitas mengakses dan mengidentifikasi informasi tanpa diikuti kemampuan interpretasi yang mendalam. Dalam kerangka DigComp 2.1, kemampuan tersebut termasuk pada tingkat dasar dalam domain pengolahan informasi, di mana individu mulai mengenali konten digital, tetapi belum sepenuhnya mampu melakukan analisis kritis terhadap makna yang terkandung di dalamnya (Carretero et al., 2017). Hasil ini sejalan dengan temuan Falloon (2020) yang menunjukkan bahwa banyak siswa masih berada pada tahap operasional dalam penggunaan teknologi dan belum mencapai tahap reflektif. Selain itu, kajian oleh (Tinmaz et al., 2022) menegaskan bahwa literasi digital mencakup kemampuan memahami, mengevaluasi, serta mengelola informasi secara kritis dalam lingkungan digital. Disimpulkan bahwa dominasi persepsi visual dalam penelitian ini menunjukkan bahwa proses pemaknaan siswa masih berada pada tingkat permukaan.

Kecenderungan siswa dalam menafsirkan keseimbangan timbangan secara visual tanpa mengaitkannya dengan konsep kesetaraan aljabar menunjukkan adanya kesenjangan antara representasi konkret dan abstrak. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menekankan pentingnya keterkaitan antarrepresentasi dalam pembelajaran matematika, khususnya antara representasi visual dan simbolik (Ramnarain, 2016). Selain itu, dalam konteks pembelajaran digital, beban kognitif menjadi faktor penting yang memengaruhi kemampuan siswa dalam mengintegrasikan informasi. Penelitian menunjukkan bahwa keterbatasan kapasitas kognitif dapat menyebabkan siswa lebih memusatkan perhatian pada informasi yang paling mudah diamati, terutama ketika harus memproses berbagai jenis representasi secara bersamaan (Leppink, 2017). Hal ini diperkuat oleh kajian Sweller et al. (2019) yang menjelaskan bahwa desain pembelajaran yang tidak terstruktur dapat meningkatkan beban kognitif dan menghambat pemahaman konseptual. Oleh karena itu, tanpa dukungan pedagogis yang memadai, penggunaan simulasi interaktif berpotensi hanya dimanfaatkan pada tingkat persepsi, bukan pada tingkat pemahaman yang lebih mendalam.

Pada aspek penyeleksian informasi, sebagian siswa belum mampu menentukan langkah yang relevan dalam mempertahankan kesetaraan persamaan. Hal ini menunjukkan bahwa literasi digital tidak hanya mencakup keterampilan teknis, tetapi juga melibatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi seperti evaluasi dan pengambilan keputusan. Falloon (2020) menegaskan bahwa kompetensi digital mencakup kemampuan memilih serta menggunakan informasi secara tepat sesuai konteks pembelajaran. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi dalam pembelajaran tidak secara otomatis meningkatkan kualitas hasil belajar tanpa disertai kemampuan berpikir kritis dalam memanfaatkan informasi digital (Redecker, 2017). Selain itu, penelitian lain menegaskan bahwa keterampilan digital abad ke-21 mencakup kemampuan evaluatif serta pengambilan keputusan berbasis informasi (van Laar et al., 2017). Jadi, ketika kemampuan seleksi informasi belum berkembang, siswa cenderung melakukan eksplorasi tanpa strategi yang jelas.



Kemampuan siswa dalam mengelola hasil eksplorasi juga menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Sebagian siswa belum mampu menyusun langkah penyelesaian secara runtut, yang mengindikasikan bahwa proses refleksi dan pengorganisasian informasi belum berkembang secara optimal. Dalam kerangka kompetensi digital, kemampuan ini berkaitan dengan keterampilan tingkat lanjut dalam mengelola dan memproduksi informasi secara sistematis (Carretero et al., 2017). Temuan ini diperkuat oleh penelitian Getenet et al. (2024) dan van Laar et al. (2017) yang menunjukkan bahwa literasi digital mencakup kemampuan mengorganisasi serta merepresentasikan informasi secara terstruktur. Siswa yang mampu menjelaskan langkah secara runtut menunjukkan adanya integrasi antara pemahaman konsep dan kemampuan berpikir logis, sedangkan siswa yang belum sistematis masih berada pada tahap eksplorasi tanpa refleksi yang mendalam.

Temuan penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan simulasi interaktif seperti *PhET Interactive Simulations* memiliki potensi dalam mendukung pembelajaran melalui visualisasi dan eksplorasi aktif. Simulasi memungkinkan siswa berinteraksi langsung dengan konsep melalui representasi dinamis sehingga membantu mengonkretkan ide yang bersifat abstrak. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan simulasi PhET memberikan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa, khususnya pada materi abstrak (Aizri et al., 2026). Temuan ini didukung oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa media pembelajaran interaktif dapat meningkatkan keterlibatan serta pemahaman konsep siswa apabila digunakan secara terarah (Mayer, 2020). Selain itu, penelitian oleh Ramnarain (2016) menegaskan bahwa efektivitas simulasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan siswa dalam mengaitkan pengalaman eksplorasi dengan konsep yang dipelajari. Jadi, keberhasilan penggunaan simulasi tidak hanya ditentukan oleh teknologi, tetapi juga oleh kemampuan literasi digital siswa.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa literasi digital merupakan faktor penting dalam menentukan efektivitas pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran matematika. Literasi digital tidak hanya berfungsi sebagai keterampilan operasional, tetapi juga sebagai kemampuan kognitif yang mendukung proses pemahaman konsep. Kajian terbaru menunjukkan bahwa literasi digital merupakan kompetensi kunci dalam pembelajaran abad ke-21 karena berkaitan dengan kemampuan berpikir kritis, evaluatif, dan reflektif (Smith & Storrs, 2023; van Laar et al., 2017). Tanpa kemampuan tersebut, interaksi siswa dengan media digital cenderung berada pada tingkat permukaan dan belum mengarah pada pemahaman konseptual yang mendalam. Oleh karena itu, integrasi teknologi dalam pembelajaran perlu disertai dengan strategi pedagogis yang terarah, seperti pemberian scaffolding, penggunaan pertanyaan reflektif, serta bimbingan dalam menghubungkan representasi visual dengan konsep matematis.

Implikasi penelitian dari temuan ini menunjukkan bahwa guru perlu merancang pembelajaran berbasis teknologi yang tidak hanya menekankan penggunaan media, tetapi juga pengembangan literasi digital siswa secara sistematis. Guru perlu memberikan arahan eksplisit dalam menginterpretasikan simbol matematika dari representasi visual, serta memfasilitasi kegiatan reflektif yang mendorong siswa mengaitkan pengalaman eksplorasi dengan konsep matematis. Selain itu, desain pembelajaran perlu mempertimbangkan pengurangan beban kognitif melalui penyajian informasi secara bertahap dan terstruktur. Bagi peneliti selanjutnya, temuan ini dapat menjadi dasar dalam mengembangkan model pembelajaran yang



berfokus pada integrasi literasi digital dan pemahaman konsep matematika, khususnya pada materi yang bersifat abstrak seperti persamaan linear satu variabel.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan kemampuan literasi digital siswa dalam pembelajaran Persamaan Linear Satu Variabel (PLSV) berbantuan simulasi PhET, diperoleh temuan bahwa kemampuan tersebut menunjukkan perbedaan pada tiap subjek dan belum berkembang secara menyeluruh. Pada aspek mengidentifikasi informasi visual dan simbolik, sebagian siswa sudah mampu mengenali elemen visual seperti keseimbangan pada timbangan, namun belum seluruhnya dapat memahami makna simbolik yang terkait dengan konsep persamaan. Hanya beberapa siswa yang mampu menghubungkan representasi visual dengan konsep matematis secara tepat. Pada aspek menafsirkan representasi, sebagian besar siswa masih memahami tampilan simulasi pada tingkat visual dan belum sepenuhnya mengaitkannya dengan konsep kesetaraan dalam bentuk aljabar. Kemampuan ini lebih terlihat pada siswa yang dapat menjelaskan bahwa kesetaraan menunjukkan nilai yang sama pada kedua ruas, meskipun penerapannya belum konsisten dalam penyelesaian soal. Selanjutnya, pada aspek menyeleksi informasi yang relevan, ditemukan bahwa sebagian siswa masih mengalami kesulitan dalam menentukan langkah penyelesaian yang sesuai. Siswa cenderung mencoba berbagai kemungkinan tanpa didasarkan pada pemahaman terhadap bentuk persamaan yang diberikan, sehingga strategi yang digunakan kurang efektif. Pada aspek pengelolaan informasi, kemampuan siswa dalam menyusun langkah penyelesaian secara logis dan sistematis juga belum berkembang secara optimal, yang terlihat dari proses penyelesaian yang belum runtut. Secara umum, penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran PLSV dapat membantu siswa dalam mengeksplorasi konsep melalui representasi visual. Namun, tanpa arahan yang memadai, pemahaman siswa cenderung berhenti pada tahap visual dan belum berkembang menuju pemahaman konseptual yang lebih mendalam. Oleh karena itu, diperlukan keterlibatan guru secara aktif dalam membimbing siswa agar mampu mengaitkan hasil eksplorasi dengan konsep matematis secara tepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aizri, M., Usmeldi, U., & Padang, U. N. (2026). *Simulations in Physics Education*. 22(2), 21–37.
- Arifin, S., Nugraha, F., & Prasetyo, P. (2022). *Mathematics Learning Design using Phet Interactive Simulation to Support Students Mathematical Understanding*. 2–7. <https://doi.org/10.4108/eai.2-12-2021.2320193>
- Ario, M., Suhendra, Jupri, A., & Nurlaelah, E. (2025). Students' Errors and Learning Obstacles in Solving Algebraic Word Problems: Hermeneutic Phenomenology. *Education Sciences*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/educsci15121674>
- Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). *DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens With Eight Proficiency Levels and Examples of Use*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.



- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.)*. Sage Publications.
- DeCoito, I., Fazio, X., & Gichuru, J. (2024). *Global Perspectives on STEM Education: Theory and Practice*. Springer Nature Switzerland. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-60676-2>
- Duryat, M., & Arifin, T. (2024). *Manajemen Program Literasi Digital di Sekolah/Madrasah: mendongkrak mutu lulusan dalam berselancar di era global*. K-Media.
- Falloon, G. (2020). From digital literacy to digital competence: the teacher digital competency (TDC) framework. *Educational Technology Research and Development*, 68(5), 2449–2472. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09767-4>
- Getenet, S., Cante, R., Redmond, P., & Albion, P. (2024). Students' digital technology attitude, literacy and self-efficacy and their effect on online learning engagement. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00437-y>
- Govender, I. (2025). Digital Literacy and STEM Skills– What is the Connection? A Systematic Review. *Technology, Knowledge and Learning*. <https://doi.org/10.1007/s10758-025-09879-x>
- Gunčaga, J., & Záhorec, J. (2024). *STEM Education Using Digital Tools in Undergraduate Teacher Education BT - New Media Pedagogy: Research Trends, Methodological Challenges, and Successful Implementations* (Ł. Tomczyk (ed.); pp. 336–350). Springer Nature Switzerland.
- Kamilah, D. P., Sulisworo, D., & Firmansyah, J. (2025). The Impact of PhET Simulations on Conceptual Understanding in High School Physics: Evidence from Indonesian Studies. *Journal of Educational Sciences*, 9(6), 6229–6244.
- Kemendikbud. (2021). *Kerangka Kompetensi Literasi Digital Pendidikan Indonesia*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Kirabo, E., Batiibwe, M. S. K., Mbulankende, J. S., & Lie, J. (2024). Technology-supported problem-based learning in mathematics education for pre-service teachers: a systematic literature review. *SN Social Sciences*, 4(10), 173. <https://doi.org/10.1007/s43545-024-00973-y>
- Komarudin, K., Suherman, S., & Vidákovich, T. (2024). The RMS teaching model with brainstorming technique and student digital literacy as predictors of mathematical literacy. *Heliyon*, 10(13). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33877>
- Layson, L. (2022). Integration of Phet Interactive Simulations in Online Synchronous and Asynchronous Teaching of Science: It's Impact on Learners' Science Process Skills. *International Journal of Trend in Scientific ...*, 6(6), 61–77. [http://eprints.umsida.ac.id/10380/%0Ahttp://eprints.umsida.ac.id/10380/1/Integration of Phet Interactive Simulations in Online Synchronous and Asynchronous Teaching of Science It's Impact on Learners' Science Process Skills.pdf](http://eprints.umsida.ac.id/10380/%0Ahttp://eprints.umsida.ac.id/10380/1/Integration%20of%20Phet%20Interactive%20Simulations%20in%20Online%20Synchronous%20and%20Asynchronous%20Teaching%20of%20Science%20It's%20Impact%20on%20Learners'%20Science%20Process%20Skills.pdf)



- Leppink, J. (2017). Cognitive load theory: Practical implications and an important challenge. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 12(5), 385–391. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2017.05.003>
- Li, M., Vale, C., Tan, H., & Blannin, J. (2025). Factors influencing the use of digital technologies in primary mathematics teaching: Voices from Chinese educators. In *Education and Information Technologies* (Vol. 30, Issue 9). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13309-3>
- Lopez, E., Sirignano, F., Vasquez, E., & Ramirez, J. (2020). Competencia digital de los estudiantes universitarios en tres áreas del modelo DigCom 2.1: un estudio comparativo en tres universidades europeas. *Https://Ajet.Org.Au/Index.Php/AJET/Article/View/5583/1650*, 36(3), 69–88. <https://ajet.org.au/index.php/AJET/article/view/5583/1650>
- Mayer, R. E. (2020). *Multimedia learning (3rd ed.)*. Cambridge University Press.
- Muliawati & Kusuma. (2019). Literasi Digital Matematika di Era Revolusi Industri 4.0. *Prosiding Sendika*, 5(1), 658–661. <https://e-proceedings.umpwr.ac.id/index.php/sendika/article/view/728/626>
- Ngandoh, S. T. (2022). Pembelajaran Daring Menggunakan Simulasi PhET untuk Melatih Kemampuan Computational Thinking Peserta Didik. *Jurnal Didaktika Pendidikan Dasar*, 6(3), 1035–1058. <https://doi.org/10.26811/didaktika.v6i3.288>
- OECD. (2019). *OECD future of education and skills 2030: OECD learning compass 2030*. OECD Publishing.
- Parthiban J, & Dr. Leo Stanly S. (2024). Enhancing the Science Process Skills through Phet Simulation. *International Research Journal on Advanced Engineering and Management (IRJAEM)*, 2(03), 432–435. <https://doi.org/10.47392/irjaem.2024.0060>
- Potane, J., & Bayeta, R. J. (2018). Virtual Learning Through PhET Interactive Simulation: A Proactive Approach in Improving Studentss Academic Achievement in Science. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3166565>
- Pradana, L. N., Sholikhah, O. H., Maharani, S., & Kholid, M. N. (2020). Virtual mathematics kits (VMK): Connecting digital media to mathematical literacy. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 3, 234–241. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i03.11674>
- Raharjo, N. P. (2024). *Literasi Digital Dakwah: Pedoman dalam Melakukan Dakwah di Era Digital*. CV Basya Media Utama.
- Rahmawati, Y., Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). Journal of Technology and Science Education STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING IN CHEMISTRY LEARNING USING PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303–326.
- Ramnarain, U. (2016). Understanding the influence of intrinsic and extrinsic factors on inquiry-based science education at township schools in South Africa.



- Journal of Research in Science Teaching*, 53(4), 598–619.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21315>
- Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union.
- Robert K. Yin. (2018). *Case study research and applications: Design and methods (6th ed.)*. Sage Publications.
- Sapiah, S., Hafid, A., Ulfah, M., & Hardi, R. (2025). *Hybrid Literacy dan Smart Education: Strategi Mengatasi Kesenjangan Digital*. Eureka Media Aksara.
- Sari, D. P., Aima, H., & Elfiswandi. (2024). *Kinerja Guru: Rekonstruksi Literasi Digital dan Kepuasan Kerja*. CV. Gita Lentera.
- Semenov, A. L., Abylkassymova, A. E., & Polikarpov, S. A. (2023). Foundations of Mathematical Education in the Digital Age. *Doklady Mathematics*, 107, S1–S9. <https://doi.org/10.1134/S1064562423700564>
- Siddiq, F., Hatlevik, O. E., Olsen, R. V., Throndsen, I., & Scherer, R. (2016). Taking a future perspective by learning from the past – A systematic review of assessment instruments that aim to measure primary and secondary school students’ ICT literacy. *Educational Research Review*, 19, 58–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.05.002>
- Smith, E. E., & Storrs, H. (2023). Digital literacies, social media, and undergraduate learning: what do students think they need to know? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00398-2>
- Suherdi, D., Rezky, S. F., Apdilah, D., Sinuraya, J., Sahputra, A., Syahputra, D., & Wahyuni, D. (2021). *Peran Literasi Digital di Masa Pandemi*. Cattleya Darmaya Fortuna.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2019). *Cognitive Load Theory*. Springer.
- Tinmaz, H., Lee, Y. T., Fanea-Ivanovici, M., & Baber, H. (2022). A systematic review on digital literacy. *Smart Learning Environments*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00204-y>
- UNESCO. (2018). *A global framework of reference on digital literacy skills for indicator 4.4.2*. UNESCO Institute for Statistics.
- van Laar, E., van Deursen, A. J. A. M., van Dijk, J. A. G. M., & de Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in Human Behavior*, 72, 577–588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.03.010>
- Veith, J. M., Beste, M. L., Kindervater, M., Krause, M., Straulino, M., Greinert, F., & Bitzenbauer, P. (2023). {Mathematics} education research on algebra over the last two decades: quo vadis? *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1211920>
- Voogt, J., Knezek, G., Cox, M., Knezek, D., & Brummelhuis, A. ten. (2011). Under which conditions does ICT have a positive effect on teaching and learning? A



- Call to Action. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(1), 4–14.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00453.x>
- Wei, Z. (2023). Navigating Digital Learning Landscapes: Unveiling the Interplay Between Learning Behaviors, Digital Literacy, and Educational Outcomes. *Journal of the Knowledge Economy*, 10516–10546.  
<https://doi.org/10.1007/s13132-023-01522-3>
- White, J. (2015). Sage Academic Books Digital Literacy Skills for FE Teachers. *SAGE Publications, Inc.* <https://doi.org/10.4135/9781473909571>
- Zhang, Y. (2025). Impact of digital literacy on college students' English proficiency: The mediating role of learning motivation and the moderating effect of technological self-efficacy. *Acta Psychologica*, 259(August), 105452.  
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105452>

