

Transformasi Pembelajaran Geometri: Dari Alat Peraga Fisik Ke *Interactive Flat Panel (IFP)* di Sekolah Dasar

Aryadi Nursantoso*

Universitas Sains Al-Qur'an, Indonesia

*Penulis korespondensi: aryadi@unsiq.ac.id¹

Abstract. *This study aims to explore the pedagogical transformation of teachers in geometry learning in elementary schools, shifting from the use of conventional physical manipulatives to Interactive Flat Panel (IFP) technology. Using a qualitative approach with a case study design, this research involved three elementary school teachers as key informants selected through purposive sampling. Data were collected through in-depth interviews and documentation studies, then analyzed using the Miles and Huberman model, which includes data condensation, data display, and conclusion drawing. The results show that IFP transforms geometry learning through three main aspects: (1) enhancing spatial visualization from static to dynamic, which facilitates the understanding of geometric shapes; (2) shifting the teacher's role into a digital laboratory facilitator; and (3) increasing mathematical precision compared to physical manipulatives. However, challenges such as time management and potential technological distractions remain. This study concludes that IFP effectively accelerates students' geometric thinking stages according to Van Hiele's theory through 3D object manipulation features. The implications of this research emphasize teacher training to optimize IFP potential in the classroom*

Keywords: *Elementary School; Geometry; Interactive Flat Panel; Learning Transformation; Teaching Aids*

Abstrak. Abstrak Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi transformasi pedagogis guru dalam pembelajaran geometri di Sekolah Dasar, dari penggunaan alat peraga fisik konvensional menuju teknologi *Interactive Flat Panel (IFP)*. Menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus, penelitian ini melibatkan tiga orang guru sekolah dasar sebagai informan kunci yang dipilih secara *purposive*. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam dan studi dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan model Miles dan Huberman yang meliputi kondensasi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa IFP mentransformasi pembelajaran geometri melalui tiga aspek utama: (1) peningkatan visualisasi spasial dari statis menjadi dinamis yang mempermudah pemahaman konsep bangun ruang; (2) pergeseran peran guru menjadi fasilitator laboratorium digital; dan (3) peningkatan presisi matematis dibandingkan alat peraga fisik. Meskipun demikian, tantangan berupa manajemen waktu dan potensi distraksi teknologi tetap muncul. Penelitian ini menyimpulkan bahwa IFP efektif mengakselerasi tahapan berpikir geometri siswa menurut teori Van Hiele melalui fitur manipulasi objek 3 dimensi. Implikasi penelitian ini menekankan perlunya pelatihan guru guna mengoptimalkan potensi IFP di kelas.

Kata kunci: Alat Peraga; Geometri; Panel Datar Interaktif; Sekolah Dasar; Transformasi Pembelajaran

1. LATAR BELAKANG

Pendidikan matematika di jenjang Sekolah Dasar (SD) memegang peranan krusial sebagai fondasi kemampuan numerasi dan logika siswa. Salah satu cabang matematika yang menjadi pilar utama adalah geometri, yang mempelajari sifat, ukuran, dan hubungan antar titik, garis, bidang, serta bangun ruang (Andriliani et al., 2022). Meskipun demikian, geometri dianggap sebagai materi yang sulit dipahami oleh siswa usia dasar (Nursantoso, 2023). Hal ini disebabkan oleh sifat geometri yang membutuhkan kemampuan abstraksi spasial yang tinggi, sementara siswa pada rentang usia 7 hingga 12 tahun, menurut teori Piaget, masih berada pada tahap operasional konkret (Mifroh, 2020).

Secara tradisional, guru mengatasi kesenjangan kognitif tersebut dengan menggunakan alat peraga fisik. Alat peraga seperti blok kayu, bola plastik, hingga kerangka jaring-jaring dari karton telah menjadi standar dalam pembelajaran geometri selama dekade terakhir (Shavira & Suparni, 2021). Media-media ini berfungsi untuk memberikan pengalaman sentuhan dan visual agar siswa dapat menyentuh serta melihat langsung karakteristik sebuah bangun. Meskipun efektif pada masanya, ketergantungan pada alat peraga fisik mulai menemui batasan, terutama dalam hal fleksibilitas, presisi, dan daya tarik bagi generasi siswa *digital native* (Jablonski & Ludwig, 2023).

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi, alat peraga fisik mulai bertransformasi ke arah digital. Media pembelajaran yang bersifat statis perlahan digantikan oleh representasi visual yang lebih dinamis (Masruroh, 2023). Masalah utama dari alat fisik adalah ketidakmampuannya untuk menunjukkan proses perubahan secara *real-time* (Sidabutar, 2024), seperti bagaimana sebuah kubus dapat terurai menjadi berbagai variasi jaring-jaring hanya dengan satu gerakan. Keterbatasan ini sering kali menghambat kreativitas dan eksplorasi mandiri siswa dalam memahami konsep-konsep geometri yang lebih kompleks.

Menjawab tantangan tersebut melalui Instruksi Presiden (Inpres) Nomor 7 Tahun 2025 tentang Revitalisasi Satuan Pendidikan, pemerintah memberikan bantuan berupa media *Interactive Flat Panel* (IFP). Kehadiran *Interactive Flat Panel* (IFP) di ruang kelas menjadi titik balik bagi metode instruksional di sekolah dasar. IFP bukan sekadar pengganti papan tulis, melainkan sebuah teknologi yang mengintegrasikan perangkat lunak geometri interaktif ke dalam satu layar sentuh berukuran besar (Zhang, 2023). Berbeda dengan proyektor biasa, media ini memungkinkan interaksi dua arah di mana siswa dapat memanipulasi objek digital, memutar bangun ruang 360° dan mengubah dimensi bentuk hanya dengan sentuhan jari (Zakelj & Klancar, 2022). Hal ini memberikan pengalaman belajar yang menggabungkan aspek konkret digital dengan kemudahan operasional (Kaufmann et al., 2000).

Transformasi dari alat peraga fisik ke elektronik juga membawa perubahan pada pedagogi guru di kelas (Taylor et al., 2024). Dengan menggunakan media elektronik, guru dapat menyajikan simulasi transformasi geometri seperti refleksi, rotasi, dan dilatasi dengan tingkat akurasi yang sempurna (Ahmad & Siller, 2024). Guru tidak lagi disibukkan dengan persiapan alat peraga yang memakan tempat dan rentan rusak, melainkan dapat berfokus pada perancangan skenario pembelajaran yang eksploratif (Rohman, 2024). Perubahan ini menciptakan atmosfer kelas yang lebih hidup, di mana teknologi berfungsi sebagai jembatan untuk memperjelas konsep-konsep yang sebelumnya sulit divisualisasikan secara manual (Tarigan et al., 2024).

Namun, transisi teknologi ini tidak lepas dari berbagai tantangan, mulai dari kesiapan infrastruktur hingga kompetensi digital para pendidik (Xenakis et al., 2024). Efektivitas penggunaan IFP di Sekolah Dasar masih sangat relevan untuk dikembangkan, mengingat belum banyak sekolah yang mampu mengoptimalkan fitur-fitur interaktif tersebut di luar sekadar menampilkan slide presentasi. Diperlukan analisis mendalam mengenai bagaimana fitur interaktif pada IFP dapat benar-benar menggantikan peran manipulatif alat peraga fisik tanpa menghilangkan esensi pemahaman konsep dasar bagi siswa (Tambunan & Syahputra, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini akan mendeskripsikan dan menganalisis transformasi pembelajaran geometri dari penggunaan alat peraga fisik ke *Interactive Flat Panel* (IFP). Dengan menggunakan pendekatan kualitatif, penelitian ini berupaya mengungkap bagaimana integrasi IFP mengubah interaksi guru-siswa, mempermudah pemahaman konsep geometri, serta hambatan apa saja yang muncul dalam proses adaptasi teknologi tersebut di sekolah dasar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis bagi pengembangan strategi pembelajaran matematika berbasis teknologi di level pendidikan dasar.

2. KAJIAN TEORITIS

Pembelajaran Geometri di Sekolah Dasar

Geometri merupakan materi esensial dalam pembelajaran matematika di sekolah dasar yang berfungsi mengembangkan kemampuan berpikir spasial, visual, dan logis peserta didik. Materi geometri pada jenjang sekolah dasar meliputi pengenalan bangun datar dan bangun ruang, sifat-sifat bangun, hubungan antarbangun, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari (Lamin et al., 2024). Pembelajaran geometri memiliki karakteristik abstrak sehingga membutuhkan pendekatan pembelajaran yang mampu menjembatani konsep abstrak dengan pengalaman konkret siswa.

Pembelajaran geometri di Sekolah Dasar tidak dapat dipisahkan dari teori Piaget dan Van Hiele. Berdasarkan teori perkembangan kognitif Piaget, peserta didik sekolah dasar berada pada tahap operasional konkret (Handika et al., 2022), yaitu tahap pemahaman konsep akan lebih efektif jika didukung oleh objek nyata atau visualisasi yang dapat diamati secara langsung. Oleh karena itu, pembelajaran geometri menuntut penggunaan media pembelajaran yang mampu memvisualisasikan konsep secara jelas dan bermakna. Menurut teori Van Hiele, siswa pada usia ini berada pada level visualisasi dan analisis, di mana mereka membutuhkan representasi objek yang jelas untuk memahami sifat-sifat matematis (Cesaria et al., 2021).

Alat Peraga Fisik dalam Pembelajaran Geometri

Alat peraga fisik merupakan media konkret yang sering digunakan dalam pembelajaran geometri di sekolah dasar, seperti model bangun datar dan bangun ruang. Penggunaan alat peraga fisik membantu siswa memahami bentuk, ukuran, dan sifat bangun secara nyata sesuai dengan karakteristik perkembangan kognitif siswa (Hsb & Muthi, 2024). Meskipun memiliki keunggulan dalam memberikan pengalaman belajar konkret, alat peraga fisik memiliki keterbatasan, antara lain keterbatasan variasi, kurangnya visualisasi dinamis, serta ketergantungan pada jumlah dan kondisi alat.

Interactive Flat Panel (IFP) sebagai Media Pembelajaran Geometri

Interactive Flat Panel (IFP) merupakan perangkat teknologi pembelajaran berupa layar sentuh interaktif yang mengintegrasikan fungsi papan tulis, komputer, dan multimedia. IFP memungkinkan penyajian materi geometri secara visual, dinamis, dan interaktif melalui gambar, animasi, simulasi, dan aplikasi pembelajaran (Ashadi et al., 2022). Dalam pembelajaran geometri, IFP memungkinkan siswa mengamati dan memanipulasi objek geometri secara virtual, seperti rotasi, refleksi, dan transformasi bangun, yang sulit dilakukan dengan alat peraga fisik konvensional.

Transformasi Pembelajaran Geometri dari Alat Peraga Fisik ke IFP

Transformasi pembelajaran dari alat peraga fisik ke *Interactive Flat Panel* merupakan bentuk adaptasi pembelajaran terhadap perkembangan teknologi digital. Transformasi ini tidak menggantikan sepenuhnya peran alat peraga fisik, tetapi melengkapi dan memperkaya pengalaman belajar siswa. Transformasi pembelajaran ini ditandai dengan perubahan pendekatan pembelajaran dari statis menjadi dinamis, dari manipulasi fisik menjadi manipulasi virtual interaktif, serta dari pembelajaran berpusat pada guru menuju pembelajaran yang lebih berpusat pada siswa (HR et al., 2024).

Penggunaan *Interactive Flat Panel* dalam pembelajaran geometri di sekolah dasar memberikan implikasi positif terhadap peningkatan pemahaman konsep, motivasi belajar, dan keterlibatan siswa. Pembelajaran menjadi lebih menarik, kontekstual, dan sesuai dengan karakteristik peserta didik abad ke-21 (Aldin et al., 2024).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus naratif atau fenomenologi. Desain ini dipilih untuk mengeksplorasi secara mendalam proses transisi pedagogis guru dari penggunaan alat peraga fisik ke *Interactive Flat Panel (IFP)*. Peneliti ingin

memahami "bagaimana" dan "mengapa" transformasi tersebut terjadi dalam konteks pembelajaran geometri di sekolah dasar.

Demi menjaga kerahasiaan data dan etika penelitian, identitas sekolah dan informan dalam penelitian ini disamarkan (anonim). Lokasi penelitian dilaksanakan di tiga Sekolah Dasar Negeri di Kecamatan Kalibawang Kabupaten Wonosobo yang telah mendapatkan bantuan IFP. Subjek penelitiannya adalah tiga guru yang sudah mendapatkan pelatihan penggunaan IFP dan melaksanakan pembelajaran menggunakan IFP pada semester gasal. Guru A merupakan seorang guru senior yang sudah memiliki pengalaman mengajar lebih dari 15 tahun dan mengalami transisi media pembelajaran dari fisik ke elektronik. Guru B merupakan guru muda yang mahir menggunakan media elektronik. Sedangkan Guru C adalah seorang guru yang mempunyai jabatan sebagai koordinator kurikulum. Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam dan studi dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan model Miles dan Huberman yang meliputi kondensasi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan (Saleh, 2023).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengungkap bahwa transisi dari alat peraga fisik ke *Interactive Flat Panel* (IFP) bukan sekadar pergantian perangkat keras, melainkan transformasi epistemologis dalam cara guru menyampaikan konsep geometri. Hasil wawancara mendalam dengan ketiga informan menunjukkan bahwa IFP telah mendefinisikan ulang batas-batas ruang kelas yang sebelumnya terbatas oleh sifat statis alat peraga konvensional atau fisik.

Perubahan Pedagogis

Transformasi dari alat peraga fisik ke *Interactive Flat Panel* (IFP) di sekolah dasar telah memicu perubahan yang mendalam pada peran guru di pembelajaran matematika materi geometri. Kehadiran IFP tidak sekadar mengganti papan tulis, melainkan mengubah paradigma guru dari penyampai informasi menjadi arsitek pengalaman belajar digital. Guru kini dituntut untuk merancang skenario pembelajaran yang lebih dinamis dan responsif terhadap input siswa menyesuaikan dengan kondisi saat ini.

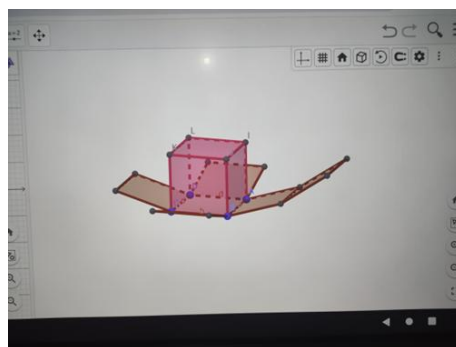
Guru A memberikan refleksi mengenai pergeseran dominasi di dalam kelas. Ia menyatakan: "*Dulu, saya mendominasi penggunaan atas alat peraga konvensional di depan kelas karena takut alat tersebut rusak jika dimainkan siswa. Sekarang, dengan IFP, saya justru mendorong siswa untuk lebih aktif dalam menggunakan alat peraga elektronik.*" Hal ini menunjukkan adanya perubahan akses terhadap penggunaan media pembelajaran. Perubahan ini secara teoretis selaras dengan prinsip *student centered learning*. Dalam konteks geometri,

guru mulai meninggalkan metode ceramah yang bersifat abstrak dan beralih ke metode penemuan terbimbing (*guided discovery*). IFP memfasilitasi guru untuk memberikan stimulus visual yang memicu rasa ingin tahu siswa, seperti menampilkan bangun ruang yang bisa bergerak atau berubah warna untuk menandai elemen-elemen tertentu seperti rusuk dan bidang diagonal.

Penggunaan IFP menunjukkan adanya peningkatan integrasi teknologi yang bersifat adaptif. Guru B memanfaatkan IFP untuk melakukan diferensiasi instruksional secara instan. Jika seorang siswa kesulitan memahami konsep luas permukaan, guru dapat membuka aplikasi simulasi jaring-jaring tanpa harus menghentikan alur kelas secara keseluruhan. Fleksibilitas ini merupakan keunggulan pedagogis yang tidak dimiliki oleh alat peraga fisik yang bersifat statis. Menurut Guru B *“Sebelum ada IFP kalau menjelaskan jarring-jaring bangun ruang, saya membuat bangun dari kertas kemudian dipotong agar membentuk jarring-jaring. Bagus, tetapi mudah rusak dan memakan waktu dalam pembuatannya. Dengan IFP, saya tinggal memanfaatkan fitur yang ada dan siswa menjadi lebih mudah dalam mengamatinya karena lebih menarik dan ada animasinya.”*



Gambar 1. Jaring-jaring bangun ruang dari kertas karton.



Gambar 2. Jaring-jaring bangun ruang di IFP yang dibuat guru B.

Penggunaan IFP juga mengubah cara guru memberikan umpan balik (*feedback*). Guru C mencatat bahwa proses evaluasi formatif terjadi secara langsung di atas layar. Saat siswa salah menarik garis pada bangun ruang, guru dapat menggunakan fitur anotasi berwarna untuk menunjukkan letak kesalahan tanpa menghapus pekerjaan siswa semula. Teknik ini membantu

siswa memahami proses koreksi secara visual, sehingga siswa akan paham betul letak kesalahan yang sebelumnya dilakukan

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui teori tahapan berpikir geometri Van Hiele (Cesaria et al., 2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa IFP mempercepat transisi siswa dari Level 0 (Visualisasi) ke Level 1 (Analisis). Kemampuan IFP untuk menampilkan objek secara dinamis memungkinkan siswa melihat sifat-sifat bangun ruang yang konstan meskipun posisi objek diubah-ubah. Hal ini sangat sulit dicapai melalui alat peraga fisik yang bersifat statis, di mana siswa cenderung hanya menghafal bentuk berdasarkan posisi yang diberikan guru.

Secara epistemologis, guru mulai memandang geometri bukan lagi sebagai kumpulan rumus yang dihafal, melainkan sebagai hubungan ruang yang bisa dimanipulasi. Perubahan pola pikir ini merupakan pencapaian tertinggi dalam transformasi digital di sekolah dasar. Guru tidak lagi merasa terbebani oleh ketidakmampuan menggambar objek 3 dimensi secara presisi, karena IFP telah mengambil alih beban teknis tersebut. Meskipun demikian, perubahan pedagogis ini menuntut literasi visual yang lebih tinggi dari guru. Guru harus mampu memilih sudut pandang yang tepat saat memutar objek di IFP agar tidak membingungkan siswa. Keterampilan memilih perspektif visual ini merupakan kompetensi baru dan butuh jam terbang untuk memunculkannya, sebagai dampak dari penggunaan teknologi layar interaktif di pendidikan dasar.

Interaksi dan Respon Siswa

Guru melaporkan bahwa siswa lebih antusias untuk mempelajari dan menyelesaikan soal geometri ketika mereka tahu hasilnya akan dipresentasikan dan diuji secara interaktif di layar IFP. Transformasi ini menunjukkan bahwa IFP berfungsi sebagai katalisator emosional yang mengubah persepsi siswa terhadap geometri dari subjek yang sulit dan membosankan menjadi subjek yang eksploratif dan menyenangkan.

Respon siswa terhadap penggunaan IFP dalam pembelajaran geometri menunjukkan tingkat keterlibatan yang sangat tinggi. Siswa sekolah dasar, yang merupakan bagian dari generasi alfa, menunjukkan intuisi teknologi yang luar biasa saat berinteraksi dengan permukaan sentuh IFP. Aktifitas siswa tersebut menciptakan apa yang disebut dalam literatur pendidikan sebagai *Flow Experience* (Huang et al., 2021), di mana siswa begitu tenggelam dalam aktivitas manipulasi geometri digital sehingga mereka kehilangan rasa takut terhadap matematika. Ketakutan yang biasanya muncul saat berhadapan dengan soal-soal geometri abstrak tereduksi oleh visualisasi yang menarik dan responsif dari layar IFP.

Penelitian ini menemukan fenomena kolaborasi spontan di depan layar. Ketika satu siswa mengalami kesulitan saat menggunakan fitur di IFP, siswa lain di barisan depan cenderung memberikan arahan verbal atau bahkan maju membantu. Hal tersebut tidak ditemukan saat menggunakan alat peraga fisik yang konvensional. Secara psikologis, penggunaan IFP juga memberikan penguatan instan bagi kepercayaan diri siswa. Fitur seperti suara klik yang memuaskan saat sebuah sisi bangun ruang menempel pada tempatnya atau perubahan warna saat jawaban benar memberikan *positive reinforcement* yang penting. Guru A mencatat bahwa siswa yang biasanya pasif menjadi lebih berani mencoba karena IFP menyediakan ruang yang luas untuk *trial and error*.

Respon siswa juga sangat dipengaruhi oleh kualitas desain visual yang disajikan guru. Bangun ruang dengan warna-warna kontras dan animasi yang halus terbukti lebih efektif dalam mempertahankan fokus siswa dibandingkan gambar diam. Hal ini menunjukkan bahwa estetika digital dalam pembelajaran geometri bukan sekadar hiasan, melainkan elemen fungsional dalam manajemen perhatian siswa di kelas. Selain itu, interaksi siswa dengan IFP juga membangun kemampuan komunikasi matematis mereka.

Efektivitas dan Efisiensi Penggunaan Media

Analisis efektivitas menunjukkan bahwa IFP mampu mengatasi keterbatasan representasi yang dimiliki oleh alat peraga fisik. Dalam konsep irisan bangun ruang, misalnya, sangat sulit untuk memotong model kayu secara fisik di depan kelas. Dari sisi efisiensi waktu, penelitian ini menemukan bahwa IFP mereduksi waktu persiapan guru hingga 40%. Guru tidak perlu lagi menyiapkan berbagai macam kotak fisik yang memakan ruang penyimpanan, waktu pembuatan, dan memangkas biaya. Semua media tersedia dalam bentuk folder digital yang dapat diakses dengan mudah. Hal ini memberikan lebih banyak waktu bagi guru untuk melakukan interaksi, serta komunikasi dengan siswa yang membutuhkan bantuan ekstra.

Penggunaan IFP juga memfasilitasi penyimpanan rekam jejak pembelajaran (*learning log*). Hasil pekerjaan siswa di atas layar dapat disimpan dan dibuka kembali pada pertemuan berikutnya untuk dilakukan tinjauan ulang (*review*). Efisiensi ini tidak mungkin dicapai dengan alat peraga fisik atau papan tulis konvensional yang harus segera dihapus setelah pelajaran selesai. Dalam hal presisi, IFP memberikan standar yang jauh lebih tinggi. Guru C menjelaskan bahwa saat mengajarkan tentang sudut dalam segitiga, dapat menampilkan busur derajat digital yang sangat akurat.

Efektivitas penggunaan IFP terlihat pada kemampuannya untuk menghubungkan berbagai representasi matematis secara bersamaan. Guru dapat menampilkan gambar 3D di satu sisi layar dan rumus volumenya di sisi lain. Perubahan pada dimensi gambar akan secara

otomatis mengubah angka dalam rumus tersebut. Koneksi dinamis ini membantu siswa memahami hubungan fungsional antar variabel dalam geometri. Namun, efektivitas ini sangat bergantung pada kualitas konten digital yang dimiliki guru.

Kendala dan Solusi

Proses transformasi ini tidak berjalan tanpa hambatan. Kendala teknis utama yang diidentifikasi adalah masalah konektivitas dan pembaruan perangkat lunak. Guru A menceritakan pengalaman di mana aplikasi geometri tiba-tiba tertutup di tengah pelajaran. Kendala semacam ini dapat merusak momentum pembelajaran dan menurunkan tingkat kepercayaan guru terhadap teknologi jika terjadi berulang kali. Solusi permasalahan di atas, guru disarankan untuk mengunduh konten agar dapat diakses secara luring (*offline*). Selain itu, pemeliharaan rutin oleh staf TI sekolah menjadi keharusan. Transformasi dari fisik ke digital ternyata membutuhkan dukungan infrastruktur manusia (teknisi) yang sama kuatnya dengan infrastruktur perangkat keras itu sendiri.

Masalah kesenjangan literasi digital antar guru juga menjadi hambatan sosiologis. Guru senior terkadang merasa terintimidasi oleh kompleksitas fitur IFP. Namun, solusi kreatif muncul melalui pembentukan komunitas praktisi di dalam sekolah. Guru-guru muda secara aktif membantu guru senior dalam menyiapkan templat materi. Guru B mengatakan: "*Kami bekerja sebagai tim; saya menyiapkan teknis layarnya, guru senior menyusun urutan logis materinya.*"

Tantangan lain adalah ketersediaan waktu bagi guru untuk membuat konten digital yang berkualitas. Menyiapkan simulasi geometri yang interaktif membutuhkan waktu lebih banyak daripada sekadar membawa bola basket ke kelas untuk menjelaskan bangun ruang bola. Solusinya, para guru mulai berbagi konten melalui platform *cloud storage*, sehingga satu konten yang bagus dapat digunakan oleh seluruh guru di jenjang yang sama.

Secara keseluruhan, dinamika transformasi ini menunjukkan bahwa kendala teknologi selalu dapat diatasi dengan inovasi pedagogis. Guru-guru dalam penelitian ini membuktikan bahwa hambatan teknis bukanlah alasan untuk kembali ke metode lama, melainkan tantangan untuk meningkatkan kompetensi profesional mereka.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa transformasi pembelajaran geometri dari alat peraga fisik ke *Interactive Flat Panel* (IFP) di sekolah dasar telah memicu pergeseran paradigma dari visualisasi statis ke manipulasi dinamis. Penggunaan IFP terbukti efektif memitigasi keterbatasan fisik alat peraga konvensional dengan menghadirkan akurasi matematis dan

visualisasi spasial yang lebih mendalam, khususnya pada konsep abstrak seperti jaring-jaring dan volume bangun ruang. Transformasi ini tidak hanya meningkatkan keterlibatan aktif siswa melalui fitur interaktif, tetapi juga memperkuat peran guru sebagai fasilitator dalam ekosistem digital. Meskipun alat peraga fisik tetap memiliki nilai pada tahap pengenalan konkret, IFP memberikan akselerasi signifikan pada tahapan berpikir geometri siswa ke level yang lebih analitis. Disarankan guru untuk tidak hanya menggunakan IFP sebagai media presentasi satu arah, tetapi mengoptimalkan fitur *multitouch* dan aplikasi geometri pihak ketiga guna menstimulasi kemampuan eksplorasi mandiri siswa. Selain itu, perlu diadakan pelatihan berkelanjutan yang berfokus pada integrasi pedagogis, bukan sekadar pengoperasian teknis perangkat, agar investasi teknologi berdampak langsung pada kualitas capaian pembelajaran.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmad, S., & Siller, H. (2024). Investigating the effect of manipulatives on mathematics achievement: The role of concrete and virtual manipulatives for diverse achievement level groups. *Journal on Mathematics Education*, 15(3), 979–1002. <https://doi.org/10.22342/jme.v15i3.pp979-1002>
- Aldin, Syaharuddin, Mandalina, V., & Abdillah. (2024). Inovasi media pembelajaran interaktif untuk pengajaran matematika di era digital. *SEMNAPTIKA IV: Pemanfaatan Artificial Intelligence dalam Pembelajaran 2.1 Berbasis Etnomatematika*, 134–149.
- Andriliani, L., Amaliyah, A., Prikustini, V. P., & Daffah, V. (2022). Analisis pembelajaran matematika pada materi geometri. *Sibatik Journal*, 1(7), 1169–1178. <https://doi.org/10.54443/sibatik.v1i7.138>
- Ashadi, I., Basuki, A., & Dewantara, B. S. B. (2022). Perancangan dan integrasi smart touch presenter kit–portable interactive surface dalam pembelajaran hybrid learning system. *Indonesian Journal of Computer Science*, 11(2), 593–603.
- Cesaria, A., Herman, T., & Dahlan, J. A. (2021). Level berpikir geometri peserta didik berdasarkan teori Van Hiele pada materi bangun ruang sisi datar. *Jurnal Elemen*, 7(2), 267–279. <https://doi.org/10.29408/jel.v7i2.2898>
- Handika, Zubaidah, T., & Witarsa, R. (2022). Analisis teori perkembangan kognitif Jean Piaget dan implikasinya dalam pembelajaran matematika di sekolah dasar. *Didaktis: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Pengetahuan*, 22(2), 124–140.
- HR, N. I., Syaharuddin, Mandalina, V., & Abdillah. (2024). Transformasi pembelajaran matematika: Dari metode tradisional ke pendekatan berbasis teknologi. *SEMNAPTIKA IV: Pemanfaatan Artificial Intelligence dalam Pembelajaran 2.1 Berbasis Etnomatematika*, 174–190.
- Hsb, R. S. M. J., & Muthi, I. (2024). Penggunaan alat peraga kotak geometri dalam meningkatkan pemahaman konsep matematika pada materi bangun datar. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(8), 371–375.
- Huang, X., Liu, C., Liu, C., Wei, Z., & Leung, X. Y. (2021). How children experience virtual reality travel: A psycho-physiological study based on flow theory. *Journal of*

Hospitality and Tourism Technology, 12(4), 777–790. <https://doi.org/10.1108/JHTT-07-2020-0186>

- Jablonski, S., & Ludwig, M. (2023). Teaching and learning of geometry: A literature review on current developments in theory and practice. *Education Sciences*, 13, 682. <https://doi.org/10.3390/educsci13070682>
- Kaufmann, H., Schmalstieg, D., & Wagner, M. (2000). Construct3D: A virtual reality application for mathematics and geometry education. *Education and Information Technologies*, 5(4), 263–276. <https://doi.org/10.1023/A:1012049406877>
- Lamin, Mariana, N., Ekawati, R., Hendratno, & Istiq'raoh, N. (2024). Profil kemampuan matematika pada materi bangun datar untuk siswa sekolah dasar di era Kurikulum Merdeka. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(4), 334–346.
- Masruroh, Y. (2023). Pengembangan media pembelajaran manual dan ICT pada materi kesebangunan siswa SMP kelas IX. *Nuris Journal of Education and Islamic Studies*, 3(1), 17–27. <https://doi.org/10.52620/jeis.v3i1.28>
- Mifroh, N. (2020). Teori perkembangan kognitif Jean Piaget dan implementasinya dalam pembelajaran di SD/MI. *Jurnal Pendidikan Tematik*, 1(3), 253–263. <https://doi.org/10.62159/jpt.v1i3.144>
- Nursantoso, A. (2023). Inisiasi pembelajaran matematika dengan etnomatematika dan teori belajar Bruner. *Jurnal Al-Qalam*, 24(2), 110–120.
- Rohman, A. A. (2024). Implementasi media digital interaktif untuk meningkatkan pemahaman konsep geometri. *Jurnal Ilmu Pendidikan, Bahasa dan Sastra (JUMPS)*, 1(2), 35–41.
- Saleh, S. (2023). *Mengenal penelitian kualitatif: Panduan bagi peneliti pemula*. Agma.
- Shavira, L. E., & Suparni. (2021). Penggunaan alat peraga ABD Ajaib dalam pembelajaran matematika realistik berbasis budaya. *AKSIOMA: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 12(2), 225–235.
- Sidabutar, R. (2024). Evaluation of mathematics learning in the digital era: Challenges and opportunities. *Jurnal Riset Ilmu Pendidikan*, 4(4), 183–187.
- Tambunan, H. J., & Syahputra, E. (2023). Development of interactive learning media based on GeoGebra Classic 6 to improve mathematical communication on solid geometry. *JURRIPEN: Jurnal Riset Rumpun Ilmu Pendidikan*, 2(2), 117–129. <https://doi.org/10.55606/jurripen.v2i2.1540>
- Tarigan, B. S., Tamba, L. T., & Pürba, T. Y. (2024). Visualisasi interaktif permukaan dalam ruang tiga dimensi: Analisis geometris dengan GeoGebra. *Pentagon: Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(4), 177–184. <https://doi.org/10.62383/pentagon.v2i4.317>
- Taylor, R., Fakhimi, M., Ioannou, A., & Spanaki, K. (2024). Personalized learning in education: A machine learning and simulation approach. *Benchmarking: An International Journal*, 32(7), 2662–2689. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2023-0380>
- Xenakis, A., Vlachos, V., Roig, P. J., & Alcaraz, S. (2024). Addressing the necessity of cybersecurity literacy: The case of ETTCS CyberTeach project. *Information and Computer Security*, 33(3), 427–451. <https://doi.org/10.1108/ICS-04-2024-0095>
- Zakelj, A., & Klancar, A. (2022). The role of visual representations in geometry learning. *European Journal of Educational Research*, 11(3), 1393–1411. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.3.1393>

Zhang, G. (2023). Haptics for human–computer interaction: From the skin to the brain. *Foundations and Trends in Human–Computer Interaction*, 17(3–4), 173–300. <https://doi.org/10.1561/1100000061>