

# Pendekatan Pedagogis Untuk Pembelajaran Sains Terintegrasi Pemanfaatan Teknologi

Febriyana Subagio <sup>1\*</sup>, Siti Zahra <sup>2</sup>, Gunawan Dwi Satria <sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Universitas Timor, Indonesia

\* [febriyana.subagio@unimor.ac.id](mailto:febriyana.subagio@unimor.ac.id)

## Abstrak

Dua Penelitian telah diteliti terkait bagaimana guru memanfaatkan teknologi berbasis komputer dalam mendukung pembelajaran sains di tingkat menengah. Penelitian ini mengkaji bagaimana pendekatan pedagogi yang terkait dengan alat-alat teknologi ini disesuaikan dengan sumber daya kognitif dan penataan yang tersedia di ruang kelas. Empat guru berpartisipasi dalam studi pertama semuanya menggunakan simulasi multimedia dalam pembelajarannya. Studi kedua yang dipresentasikan adalah bagian dari Penelitian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa; 11 guru di delapan sekolah diamati menggunakan simulasi multimedia, alat pencatatan data, dan papan tulis interaktif. Para guru diwawancarai dalam semua kasus untuk memperoleh pemikiran pedagogis mereka tentang penggunaan TIK di kelas. Temuan ini menunjukkan bahwa guru tidak lagi hanya menggunakan eksperimen 'nyata' dalam praktiknya. Para guru dalam penelitian Peneliti menggunakan simulasi, pencatatan data, Peneliti animasi, dan sumber daya digital dinamis lainnya sebagai alat untuk mendorong dan mendukung prediksi dan untuk menunjukkan konsep ilmiah dan proses fisik dengan demikian 'menjembatani kesenjangan' antara pengetahuan ilmiah dan informal. Mereka juga mengintegrasikan teknologi secara hati-hati dengan aktivitas praktis lainnya untuk mendukung pengembangan, konsolidasi, dan penerapan pengetahuan secara bertahap. Penelitian semacam ini mempunyai implikasi desain baik terhadap kegiatan yang berkaitan dengan kurikulum maupun teknologi pembelajaran berbasis komputer yang sedang berkembang, dalam hal membantu kita memahami bagaimana guru memanfaatkan teknologi yang tersedia dalam mendukung siswa untuk membangun hubungan antara teori ilmiah dan bukti empiris.

**Kata Kunci:** *Pendekatan Pedagogis; Pembelajaran Sains; Teknologi; Interactive Whiteboard; Multimedia*

## Pendahuluan

Dua studi penelitian yang dilaporkan di sini dipresentasikan bersama dalam sebuah simposium di konferensi yang mempertemukan tim independen dari berbagai institusi, dan seorang pembahas, yang berbagi keprihatinan dengan perkembangan pemikiran pedagogis tentang pengintegrasian penggunaan teknologi ke dalam pengajaran dan pembelajaran sains (Ahmad, 2019). Pertanyaan bersama yang mendasari pekerjaan Peneliti adalah: Bagaimana guru dapat mendukung siswa dalam menggunakan teknologi interaktif untuk mengakses 'dunia teori' sains? Bagaimana pedagogi dikaitkan dengan tujuan ini yang dibentuk oleh sumber daya kognitif yang dibawa oleh peserta didik dan oleh penataan sumber daya yang tersedia dalam lingkungan pendidikan tertentu?

Peneliti memanfaatkan literatur konsepsi siswa sebelumnya keyakinan intuitif tentang fenomena alam yang diperoleh dari pengalaman yang menyoroti pentingnya penataan aktivitas sehingga menghasilkan penalaran implisit eksplisit. Intervensi dan bimbingan guru yang memunculkan, mendiskusikan, menantang dan membangun ide-ide siswa sendiri, menggambarkan dan menafsirkan pengalaman bersama dan menyoroti kontinuitas serta perbedaan antara konvensi ilmiah dan ide-ide informal, dianggap sebagai penting untuk konstruksi utama (sosial) siswa atas kerangka pengetahuan yang lebih abstrak, umum dan penjelasan. Sifat konsep dan proses ilmiah yang kompleks dan kontra-intuitif berarti bahwa peluang untuk diskusi, penalaran, interpretasi, dan refleksi sangat penting untuk membangun pengetahuan. Memperkenalkan alat dan sumber daya teknologi yang dapat digunakan siswa secara interaktif berpotensi menawarkan peluang lebih lanjut untuk mengekspresikan, mengevaluasi, dan merevisi ide-ide mereka yang berkembang seiring dengan visualisasi konsekuensi dari pemikiran mereka sendiri (Zaid et al, 2022).

Penelitian yang dilaporkan ini, tiga teknologi berbeda digunakan sebagai alat untuk mendukung pembelajaran sains: simulasi multimedia, pencatatan data, dan papan tulis interaktif. Simulasi menawarkan representasi fenomena fisik dan eksperimen yang ideal, dinamis, dan visual yang berbahaya, mahal, atau tidak mungkin dilakukan di laboratorium sekolah. Hal ini membebaskan siswa dari proses manual yang melelahkan, mempercepat produksi pekerjaan dan memungkinkan guru dan siswa untuk fokus pada isu-isu penting atau menyeluruh tanpa gangguan (Anita et al, 2023). Penggunaan simulasi dianggap mendukung pembelajaran sains melalui mendorong siswa untuk mengajukan dan menyelidiki pertanyaan-pertanyaan eksploratif dan menghasilkan lebih sedikit data yang 'berantakan'. Pencatatan data mengotomatiskan pencatatan dan penanganan data eksperimen melalui penggunaan peralatan penginderaan yang menawarkan umpan balik langsung dan mengurangi pengumpulan data yang melelahkan dan produksi grafik (Apriani et al, 2022). Umpan balik langsung dari tampilan grafik dinamis memungkinkan tindakan dipantau dan disesuaikan. Namun, demonstrasi tetap menjadi cara penggunaan yang umum.

*Interactive Whiteboard* adalah alat yang lebih umum yang menawarkan akses spontan bagi seluruh kelas ke berbagai sumber daya berbasis web dan multimedia yang diPenelitionsikan yang fitur Penelitionsi, manipulasi dan anotasinya berfungsi untuk memfasilitasi visualisasi pengetahuan abstrak. *Interactive Whiteboard* baru-baru ini tersebar luas di sekolah menengah (Bachtiar, 2020). Literatur penelitian embrionik menunjukkan bahwa meskipun manipulasi siswa berpotensi menawarkan peluang untuk membangun pengetahuan kolektif, penggunaannya sebenarnya memperkuat pedagogi didaktik yang berpusat pada guru yang kurang dapat menyesuaikan dengan respons individu. Pekerjaan Peneliti didasarkan pada gelombang penelitian sebelumnya mengenai penggunaan TIK dalam sains yang berfokus pada desain prinsip-prinsip pedagogi untuk aplikasi seperti simulasi dan animasi. Prinsip-prinsip pedagogi (Baharizqi et al, 2023) seperti (1) Memprediksi, mengamati, dan menjelaskan, (2) Ceritakan, jelajahi, dan periksa, (3) Menganalisis, mengeksplorasi, merencanakan, mengimplementasikan, memverifikasi

Dasar dari semua prinsip ini (yang juga telah didukung oleh pengembang perangkat lunak dan diterapkan dalam sistem mereka) adalah gagasan bahwa manipulasi langsung representasi abstrak dari objek dan fenomena konkret dapat membantu siswa dalam mengeksplorasi dan menguji ide-ide mereka tentang alam sebagai perbandingan, dengan dunia teori ilmu pengetahuan (Davidi et al, 2021). Namun sebagian besar pekerjaan ini dilakukan di laboratorium. Kedua Penelitian yang dijelaskan di bawah ini telah memperluas penerapannya pada siswa sekolah menengah dalam lingkungan pendidikan dunia nyata dan mengkaji bagaimana kendala yang ada membentuk pendekatan pedagogi.

## Metode

Keempat guru merupakan peserta dalam rangkaian sains Penelitian Pendidikan Interaktif yang dilakukan selama tiga tahun terakhir oleh Sekolah Pascasarjana Pendidikan di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sebagai bagian dari Program Penelitian Pengajaran dan Pembelajaran. Pada Penelitian ini, lebih dari 50 guru dari berbagai mata pelajaran sekolah menengah, yang diidentifikasi oleh manajer senior mereka sebagai kandidat yang cocok untuk inisiatif ini, bermitra dengan pelatih guru Universitas dalam mata pelajaran yang sama dan diminta untuk membuat desain pembelajaran baru yang disebut Inisiatif Desain Subjek (SDI) untuk menggunakan TIK dalam pengajaran mereka (Laskyana et al, 2022). Mereka kemudian dipantau selama perancangan, implementasi dan peninjauan pembelajaran ini. Setiap pelajaran direkam secara keseluruhan dan ditindaklanjuti dengan wawancara semi-terstruktur pasca-Penelitian yang berlangsung antara 1 jam dan 1 jam 45 menit.

Tujuan umum dari jadwal wawancara adalah untuk menyelidiki (Lestari et al, 2020) terkait (1) Persepsi guru mengenai keberhasilan, masalah dan tantangan relatif dalam bekerja dengan TIK, (2) Selama periode Penelitian berlangsung, terjadi perubahan dalam pendekatan guru dalam menerapkan penggunaan TIK dalam praktik mereka dan bagaimana hal ini berkaitan dengan pembelajaran siswa, (3) Perubahan pandangan guru tentang TIK dalam proses belajar mengajar seiring berjalannya waktu, (4) Pandangan guru tentang proses yang mereka alami selama Penelitian. Simulasi digunakan dalam mode langsung oleh siswa dalam semua kasus. Para guru menganggap bahwa memberikan siswa tingkat kendali atas pembelajaran mereka sendiri dapat memberikan tantangan, motivasi, dan keterlibatan bagi berbagai kelompok siswa (Yunansah et al, 2022). Pandangan ini sejalan dengan pengamatan terhadap siswa yang menggunakan permainan dan simulasi. Wawancara guru menguatkan pernyataan-pernyataan utama yang diidentifikasi dalam literatur, khususnya menghubungkan pembelajaran dengan kekuatan representasi visual yang beranimasi, dan pembelajaran dirancang untuk memanfaatkan hal ini (Ningsih et al, 2022).

Simulasi juga digunakan untuk melepaskan siswa dari proses manual yang melelahkan dan seringkali membingungkan. Guru A menggunakan paket simulasi ('Fisika Buaya') untuk mengajarkan rangkaian listrik dan merasakan manfaatnya karena memungkinkan siswa berinteraksi langsung dengan konsep yang dimodelkan tanpa gangguan pada pemikiran

mereka yang sering kali timbul dari koneksi buruk yang terdapat pada listrik. sirkuit yang dibangun di sekolah.

Pergeseran peran guru di kelas juga dijelaskan, misalnya oleh Guru J yang mulai membandingkan pengajaran melalui perangkat lunak simulasi dengan praktik laboratorium sekolah standar yang menyelidiki pengaruh suhu pada aktivitas enzim dengan Tahun 10 (15 tahun). Dia melaporkan bahwa melakukan eksperimen secara real-time berarti bahwa permasalahan praktis sering kali menggantikan 'masukan intelektual' guru, sedangkan setelah simulasi berjalan, dia menghabiskan lebih sedikit waktu untuk membantu anak-anak memahami apa tugas tersebut dan lebih banyak waktu 'membahas poin-poin pembelajaran yang ingin ditunjukkan oleh simulasi' (Nur'ariyani et al, 2022). Namun dia prihatin dengan prediktabilitas kumpulan data yang diprogram ke dalam simulasi dan senang karena sejumlah siswanya yang lebih mampu menyadari keterbatasan model komputer ini: Pada set 1 mungkin sekitar 4 atau 5 muncul dan berkata 'Ini tidak bagus sebagai tugas kuliah karena Peneliti tidak dapat memvariasikan apa pun. Peneliti memvariasikan [suhu], tapi Peneliti semua menghasilkannya hasil yang sama.' Cemerlang. Mereka sebenarnya telah melihat batasan tertinggi dari simulasi komputer. Dan dengan cara yang lebih berguna untuk dipahami – bahwa komputer itu terbatas.

Pengalaman J menyoroti pentingnya hubungan antara kemampuan siswa dan cara perangkat lunak simulasi mendukung pembelajaran mereka; pada refleksi, ia menyadari bahwa ia memerlukan strategi pengajaran yang berbeda dalam menggunakan simulasi dengan kedua kelompok siswanya. Bagi kelompok kurang mampu, kekuatan simulasi untuk meningkatkan cakupan pengalaman mereka melalui representasi visual adalah hal yang terpenting. Hal serupa juga memungkinkan mereka mengulangi eksperimen sesering yang diperlukan, yang tidak dapat dilakukan secara praktis (Oktaviani et al, 2020): "Anda dapat menghasilkan lebih banyak data, dan melihat keseluruhan kurva dibandingkan empat titik di atasnya". Namun, dengan kelompok yang lebih mampu, ia perlu merencanakan pembelajaran yang membahas premis-premis yang mendasari model simulasi tersebut.

Guru B membahas poin terakhir ini lebih jauh. Dia mengajar rangkaian listrik kepada sekelompok siswa yang mampu, juga di Kelas 10. Setelah memperkenalkan teorinya, dia kemudian menggunakan CD-ROM yang disebut 'Gajah Berbulu' bersama kelompoknya untuk memperjelas prinsip-prinsip yang mendasari rangkaian listrik, energi yang membawa partikel bermuatan sebelum mereka merencanakan penyelidikan terhadap hambatan kawat sebagai individu. Sayangnya, beberapa grafik yang digunakan dalam simulasi ini menunjukkan energi yang dihamurkan pada komponen tertentu bertentangan dengan pemahaman konseptual yang telah dikembangkan oleh beberapa peserta didik yang lebih mampu dalam kelompok bahwa energi dihamurkan ke seluruh rangkaian. B memanfaatkan penemuan kebutuhan untuk meninjau model yang digunakan dalam banyak simulasi dengan hati-hati dalam mengembangkan SDI kedua untuk siswa yang lebih tua. SDI kedua ini berfokus pada siswa fisika pra-universitas Kelas 12 (16-17 tahun)<sup>2</sup> yang menggunakan Internet untuk meneliti dan meninjau contoh simulasi efek fotolistrik.

Kedua SDI B menyertakan diskusi seputar fakta bahwa pemahaman siswa terhadap topik sebenarnya bertentangan dengan apa yang direpresentasikan dalam simulasi. B sangat senang dengan tanggapan siswa terhadap SDI kedua, ia menyimpulkan bahwa ini adalah cara yang efektif dalam menggunakan sumber daya di Web, karena dapat menghindari masalah sains yang salah dalam model sederhana. Mereka menjadi lebih aktif dan proaktif dalam pembelajaran, dibandingkan hanya bereaksi terhadap apa yang mereka lihat di depan mereka dan secara otomatis mengambilnya dari Web karena terlihat cantik. Mereka bersikap kritis. Dan mengajarkan berpikir kritis harus menjadi cara yang baik untuk maju.

Guru B menemukan metode perencanaan penggunaan simulasi dalam sains yang mungkin dapat menghilangkan kekhawatiran mengenai simulasi yang diidealkan dan disederhanakan sebagai model realitas (Pratiwi et al, 2017). Segera mengakui bahwa model-model di Internet tidak semuanya sempurna dan meminta siswa yang mampu atau lebih tua untuk meninjaunya mengingat betapa efektifnya mereka dalam mengilustrasikan efek fotolistrik, ia memungkinkan siswa untuk merefleksikan dan meninjau pemahaman mereka sendiri, memperkuat dan mengkonsolidasikan konsep yang diajarkan. Kepercayaan diri yang lebih besar dalam penggunaan terminologi ilmiah yang terkait dengan efek fotolistrik dan telah memperoleh pemahaman yang lebih dalam tentang konsep-konsep yang mendasari hal ini.

Kasus-kasus teladan dipilih secara cermat melalui proses pengambilan sampel multi-tahap. Pertama, contoh keberhasilan praktik yang didukung TIK oleh para praktisi diperoleh melalui 10 wawancara kelompok terfokus di departemen sains yang dipilih melalui rekomendasi yang dikuatkan. Kelompok biasanya terdiri dari tiga atau empat kolega departemen yang merupakan pengguna tetap ICT; mereka diminta untuk mencalonkan dan mendiskusikan praktik-praktik di mana perangkat TIK dianggap mendukung pengajaran dan pembelajaran secara efektif. Setelah peninjauan nominasi, tiga praktik perwakilan dipilih.

*Tabel 1. Topik Pelajaran*

| Topik dan Teknologi                                             | Kelompok tahun/s |
|-----------------------------------------------------------------|------------------|
| Simulasi                                                        | 10               |
| Difusi dan Osmosis                                              | 9 and 11         |
| Kecepatan Terminal                                              | 8                |
| Pencampuran Ringan                                              | 9 and 10         |
| Pencatatan Data                                                 | 10               |
| Meniru/Menafsirkan Grafik Jarak-Waktu                           | 10               |
| Pengaruh Laju Pendinginan pada Ukuran Kristal                   | 10               |
| Kehilangan Panas Akibat Radiasi dari Permukaan Berwarna Berbeda | 10               |
| Interactive Whiteboard                                          | 10               |
| Pertukaran Gas di Alveoli                                       | 9                |
| Hukum Ketiga Newton Tentang Gerak                               | 9                |

Penyelidikan secara rinci melalui 11 studi kasus, bervariasi berdasarkan praktik, sekolah, kelompok siswa dan topik (lihat Tabel 1). Para peserta menunjukkan pemikiran pedagogis yang dikembangkan dan diartikulasikan dengan baik tentang pengintegrasian penggunaan teknologi. Analisis tematik dalam dan lintas kasus mengacu pada data kelompok fokus departemen, dan dua observasi pembelajaran serta wawancara lanjutan dengan guru dan

siswa (kelompok) yang dilakukan dalam setiap kasus. Wawancara disusun melalui serangkaian kartu cepat yang dirancang untuk memperoleh pemikiran guru tentang tindakan utama dalam menyukseskan penggunaan TIK (Prihandini et al, 2022). Anjuran bagi siswa mengundang pemikiran mereka tentang topik yang mereka pelajari, atau kesulitan yang mereka hadapi, bagaimana penggunaan TIK dapat membantu, dan apa yang guru lakukan untuk membantu mereka belajar. Temuan rinci mengenai masing-masing praktik dilaporkan dalam Penelitian terpisah di sini Peneliti merangkum tema-tema menyeluruh yang dapat menggeneralisasi penggunaan teknologi dalam Pembelajaran Sains secara lebih umum.

## Hasil dan Pembahasan

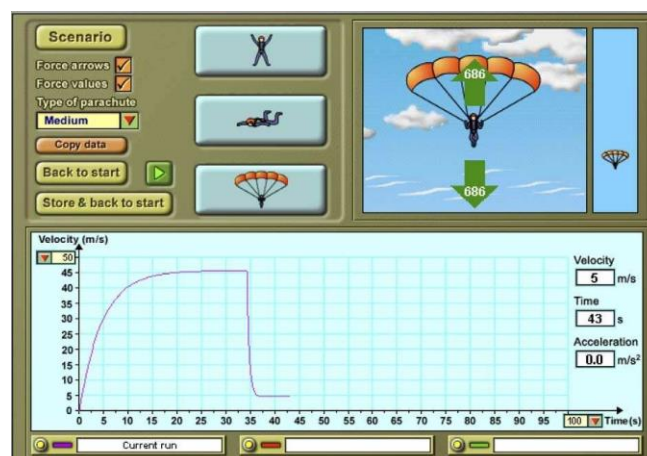
### ***Strategi Pedagogi untuk Mengeksplorasi Manfaat Simulasi Multimedia Untuk Mendukung Pembelajaran Sains***

Penelitian ini menyelidiki penggunaan simulasi oleh guru di kelas. Hal ini dilakukan untuk menyelidiki bagaimana pelajaran sains dapat dirancang dengan menggabungkan perangkat lunak yang relevan dan interaktif ke dalam strategi pedagogi yang baik untuk sejumlah topik sains. Studi ini mengacu pada keprihatinan yang didokumentasikan dalam literatur terbaru tentang penggunaan simulasi yang efektif untuk Pembelajaran IPA. Fakta bahwa menggunakan simulasi secara efektif dalam Pembelajaran Sains tidaklah semudah yang terlihat pada awalnya. Mereka menggambarkan proses transformasi pengetahuan mata pelajaran, pedagogi, teknologi, kurikulum dan kontekstual yang kompleks dan saling terkait yang perlu dijalani oleh seorang guru sains agar dapat mengajar dengan sukses melalui perangkat lunak simulasi. Sejumlah bahaya aktual yang melekat dalam penggunaan simulasi dalam sains: simulasi adalah versi ideal dari realitas yang dibangun di atas model proses ilmiah yang tidak terlihat, tidak dapat dipertanyakan, dan sering kali disederhanakan sehingga memberikan kesan kepada siswa bahwa setiap variabel mudah untuk dideteksi dan dikendalikan (Diana et al, 2021).

Gambaran simulasi dan alat TIK lainnya sebagai nilai tambah pada pelajaran sains dalam dua cara: yang pertama melalui sifat intrinsik perangkat lunak; dan yang kedua melalui potensi manfaat pembelajaran siswa seperti pemahaman yang lebih jelas. Keputusan perencanaan yang dibuat oleh guru tentang cara menggunakan perangkat lunak yang sangat penting untuk menjamin manfaat pembelajaran ini (Eliza et al, 2022). Bagian Penelitian ini melaporkan refleksi empat guru sains berpengalaman dalam perencanaan penggunaan perangkat lunak simulasi dan apa yang mereka lihat sebagai sifat intrinsik simulasi yang meningkatkan pembelajaran. Para guru sains ini beralih dari perspektif awal mereka bahwa simulasi adalah versi kerja praktek yang buruk. Refleksi mereka terhadap sifat intrinsik perangkat lunak simulasi menegaskan bidang utama potensinya untuk mentransformasikan pengajaran dan pembelajaran dalam pelajaran sains seperti yang dirangkum di atas. Para guru menyimpulkan bahwa strategi pedagogi berikut mengeksplorasi sifat intrinsik ini dan menghasilkan pengajaran dan pembelajaran yang efektif (Fakhriyah et al, 2023):

- Memberikan kesempatan kepada siswa untuk memanipulasi sendiri simulasinya dan menyediakan waktu untuk skenario “Bagaimana Jika....” siswa dalam merencanakan penggunaan simulasi di kelas.
- Menunjukkan ketidaksempurnaan model ideal yang digunakan dalam simulasi. Meminta siswa untuk menelitinya memungkinkan mereka untuk memperjelas pemahaman mereka sendiri, menyelaraskannya dengan konsep yang diajarkan.
- Menerapkan strategi pengajaran yang berbeda untuk menggunakan simulasi dengan siswa yang kurang mampu dan lebih mampu. Bagi kelompok yang kurang mampu, perencanaan seputar representasi visual adalah kuncinya, namun bagi kelompok yang lebih mampu, guru perlu mengatasi premis yang mendasari model tersebut.

Guru mengeksplorasi kemampuan presentasi visual yang dinamis, interaktivitas, dan umpan balik langsung untuk menjadikan konsep dan proses ilmiah yang mendasarinya lebih menonjol dan dapat diakses oleh siswa. Representasi dinamis memungkinkan komunikasi konsep kompleks yang lebih efisien dan bertindak sebagai alat bantu kognitif, mengurangi kebutuhan siswa untuk merumuskan representasi mental mereka sendiri: 'mencoba menunjukkan fakta bahwa gesekan meningkat seiring dengan percepatan adalah sangat sulit' sedangkan 'animasi membutuhkan banyak usaha [karena] mereka dapat melihatnya!' (T), dan 'sebelumnya hanya seperti kabur di kepala tetapi [dengan simulasi] Anda dapat melihat apa yang terjadi ' (P) (Putri et al, 2023). Pembuatan plot data real-time merangsang diskusi, prediksi, pengujian hipotesis, dan mempertanyakan hasil yang tidak wajar, misalnya ketika siswa dalam pelajaran Guru K menduga tentang efek pembukaan parasut dalam skenario simulasi terjun bebas. Investigasi kolaboratif terhadap konsensus keyakinan sehari-hari yang dihasilkan (yaitu bahwa penerjun payung akan terangkat sebentar) sengaja dilakukan digunakan untuk memprovokasi konflik kognitif (Ratri, 2021). Wawancara guru dan siswa menegaskan bahwa konflik telah berhasil diatasi melalui penyesuaian prediksi siswa dengan hasil yang diamati: hambatan udara meningkat dan kecepatan menurun hingga gaya seimbang dan kecepatan stabil tercapai.



Gambar 1 Simulasi kecepatan terminal

Kesepakatan tersebut dimanfaatkan melalui strategi untuk memusatkan perhatian pada konsep, hubungan, dan proses utama yang mendasarinya. Guru merancang pembelajaran

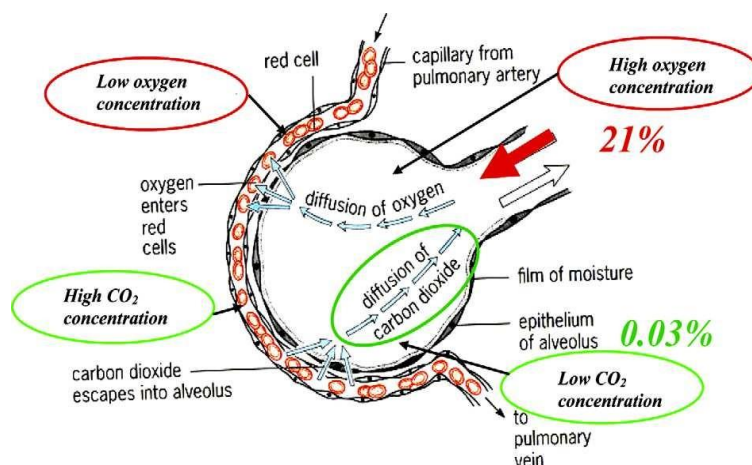
dengan hati-hati untuk membatasi domain dan menonjolkan fenomena yang menarik (menggunakan simulasi dan animasi untuk menyajikan skenario yang disederhanakan dan pencatatan data untuk mencapai hasil yang 'lebih bersih' dan tidak terlalu ambigu) (Retno et al, 2018). Mereka membimbing siswa dalam mengeksplorasi konsekuensi dari manipulasi variabel – misalnya saat meniru grafik jarak-waktu menggunakan sensor gerak, atau mencampurkan cahaya berwarna dengan simulasi. Waktu yang diperoleh melalui 'lebih sedikit waktu di papan tulis, menggambar diagram' meningkatkan peluang untuk pertanyaan strategis dan interpretasi (misalnya menganalisis 'bentuk dan pola' grafik kurva pendinginan sedangkan kelompok berkemampuan rendah yang memproduksinya secara manual dapat 'kehilangan keseluruhan konsep').

Peluang untuk menilai pembelajaran secara informal dan menggerakkan pemikiran siswa dimanfaatkan melalui diskusi mengenai hasil atau 'mendorong mereka langkah demi langkah untuk memberi tahu saya apa yang terjadi' terutama saat aplikasi sedang berjalan. Guru dengan demikian mengeksplorasi manipulasi langsung representasi abstrak objek konkrit dalam menghubungkan fenomena dengan teori. Misalnya, setelah meminta siswa menyusun penjelasan mereka sendiri tentang pertukaran gas di paru-paru, Guru C mengembangkan narasi ilmiah yang logis dengan terlebih dahulu memberi anotasi pada diagram yang diproyeksikan untuk menunjukkan konsentrasi relatif oksigen dan karbon dioksida dalam suatu ruangan. alveolus, lalu menganimasikannya untuk mendemonstrasikan proses difusi. Dia mengeksplorasi representasi visual yang dinamis dan interaktivitasnya sambil mengomunikasikan secara verbal aspek-aspek kunci dari proses tersebut:

Anda dapat melihat sel-sel darah merah bergerak mengelilingi kapiler. Yang masuk sekarang hanya menunjukkan kandungan oksigennya. Apa yang keluar Anda baru saja melihat karbon dioksida. Jadi saat Anda bernapas, Anda mendapat banyak oksigen di sini banyak karbon dioksida dalam darah dibandingkan dengan alveolus, yang berdifusi keluar. Menciptakan peluang untuk eksplorasi, partisipasi, dan manipulasi siswa dianggap sangat penting oleh para guru – sebagaimana dikuatkan oleh literatur penelitian dan studi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Namun sebagian besar aktivitas yang diamati diarahkan oleh guru dan retorika mengenai pembelajaran penemuan tidak diwujudkan dalam praktik kelas. Kendala yang ada di sini adalah masalah sumber daya dan teknis, serta pendekatan dan pemikiran pedagogi yang ada. Hal terakhir ini terutama dibentuk oleh kekhawatiran mengenai pengelolaan dan pengendalian kelas, dan oleh budaya mata pelajaran sains sekunder yang sistemis yang menerapkan batasan waktu kurikulum yang ketat. Konsekuensinya, kesulitan yang dihadapi dalam berinteraksi secara efektif dengan banyak siswa yang bekerja dalam mode 'langsung' (baik dengan atau tanpa teknologi), berarti bahwa tanpa intervensi guru yang tepat waktu, individu mungkin gagal atau mengembangkan 'pengetahuan istimewa' mereka sendiri.

Namun demikian, temuan Peneliti menunjukkan bahwa keahlian pedagogi dalam menggunakan teknologi secara efektif dapat dikonfigurasi untuk mengatasi kendala dan kekhawatiran tersebut melalui pengajaran interaktif di seluruh kelas yang mendukung pembangunan pengetahuan ilmiah kolektif. Pada pelajaran seperti itu (mayoritas),

penekanannya adalah pada partisipasi siswa dalam aktivitas kognitif daripada aktivitas fisik, dan pembicaraan biasanya difokuskan pada klarifikasi atau interpretasi fenomena yang terlihat di layar atau papan komputer; siswa menggambarkan bagaimana guru 'membujuk kita melalui hal tersebut'. Pengantar pelajaran Guru C tentang pertukaran gas di atas memberikan contoh proses ini; murid-muridnya menegaskan bahwa menggunakan satu papan tulis berarti 'Anda dapat menemukan berbagai hal bersama-sama, dan ini jauh lebih mudah'. Demikian pula pada seluruh aktivitas kelas dengan sensor gerak yang disebutkan sebelumnya, keterlibatan melalui mengarahkan dan mengamati simulasi fisik rekan sejawat terhadap grafik: 'Jika seseorang yang Anda kenal pernah melakukannya, kemungkinan besar Anda akan mengingat hal itu terjadi.'



Gambar 2 Diagram Interactive Whiteboard Pertukaran Gas di Alveoli

Guru K menggunakan simulasi terjun bebas yang diPenelitionsikan sebagai stimulus visual yang dinamis untuk bertanya, menduga dan berpikir, dan untuk memusatkan perhatian siswa pada konsep target sambil memanipulasi simulasi itu sendiri (misalnya, 'awalnya hanya beban yang bekerja padanya, Anda bisa lihat hambatan udara di sana, semakin besar dan besar'). Siswa menganggap cara 'menunjukkan cara kerja' ini sangat membantu dalam meningkatkan pemahaman; demikian pula, dia 'meminta Peneliti untuk 'terlibat' dan 'terus memeriksa apakah Peneliti benar-benar tahu apa yang dia bicarakan, alih-alih terus melanjutkan saja'. Oleh karena itu, guru menggunakan teknologi secara efektif sebagai alat untuk mendukung komunikasi 'dialogis' melalui perolehan pengetahuan siswa dan secara kolaboratif mengevaluasinya berdasarkan model ilmiah (seperti diuraikan di atas).

Praktik yang diamati dapat digambarkan sebagai mendorong partisipasi siswa dalam komunitas penyelidikan kolaboratif melalui mode pengajaran yang secara kognitif 'interaktif' yang terbukti efektif dalam hal pembelajaran dan motivasi siswa. Integrasi teknologi dengan kegiatan praktis dan sumber daya lainnya adalah strategi umum lainnya yang digunakan untuk meningkatkan pembelajaran. Kombinasi penggunaan simulasi dan praktik memungkinkan siswa untuk melihat 'apa yang terjadi di dunia nyata' dan menafsirkan observasi dalam konteks teori (Salleh et al, 2023). Misalnya, Guru R memodelkan osmosis menggunakan telur yang direndam dalam larutan garam, sebelum berdiskusi seputar simulasi.

### ***Pemanfaatan Sumber Daya dan Animasi Interactive Whiteboard***

Pembangunannya, konstruksi pemahamannya, sedikit demi sedikit, di layar, itulah yang benar-benar membuat perbedaan. Siswa dapat 'melanjutkan [pembelajaran]' dan 'menerapkannya pada situasi baru' melalui mengunjungi kembali halaman papan tulis interaktif, simulasi, dan grafik. Pertanyaan, kerja tertulis, dan kuis sering digunakan untuk mendukung hal ini, terutama pada saat pleno. Ketika siswa Guru C mengulas pemahaman tentang pertukaran gas di papan tulis interaktif, 'mereka berdebat satu sama lain dan berdiskusi apakah segala sesuatunya benar atau salah dan alasannya'. Beberapa guru menggabungkan hasil pembelajaran teknologi dengan aktivitas dan pengetahuan lain untuk mengembangkan pemahaman dalam dan melalui serangkaian pembelajaran. Terakhir, guru menyesuaikan integrasi teknologi dengan memberikan tingkat kecepatan, tantangan, dan penjelasan yang berbeda. Guru K telah membangun perpustakaan sumber daya yang dapat digunakannya untuk menanggapi berbagai kebutuhan pembelajaran. Saya suka mengikuti pelajaran dengan berbagai aktivitas yang siap dilakukan; lalu Anda harus berbicara dengan anak-anak, mencari tahu di mana mereka berada, dan membangun pembelajaran di sekitar mereka.

### **Kesimpulan**

Temuan ini menggambarkan bagaimana keahlian pedagogi dalam menggunakan teknologi secara efektif dapat disesuaikan dengan kendala situasional melalui pengajaran interaktif di seluruh kelas yang memfasilitasi perubahan konseptual melalui keterlibatan siswa dalam ekspresi publik dan pengamatan kritis terhadap konsepsi mereka sendiri. Proses ini menawarkan solusi adaptif terhadap sifat interaksi efektif yang sulit dan memakan waktu dengan banyak siswa yang bekerja dalam tatap muka. Keberhasilan strategi penggunaan teknologi dalam melakukan penyelidikan kolaboratif, prediksi, interpretasi dan menghubungkan dengan pembelajaran sebelumnya dikuatkan oleh perasaan keterlibatan perwakilan siswa dan laporan pembelajaran konseptual. Pandangan Peneliti bahwa keberhasilan tersebut bergantung pada guru yang mengeksplorasi representasi visual yang dinamis melalui penggunaan teknologi sebagai objek referensi bersama yang kuat dan dapat dimanipulasi untuk merangsang diskusi dan pembuatan hipotesis ketika mereka menggambarkan dan merumuskan kembali pengalaman bersama untuk siswa. Peran khusus guru di sini adalah menunjukkan persamaan dan perbedaan antara gagasan informal dan ilmiah, menjembatani kesenjangan di antara keduanya, dan membuat 'cerita ilmiah' yang dapat diakses.

### **Acknowledgment**

-

### **Daftar Pustaka**

Ahmad, E. (2019). Upaya Meningkatkan Kompetensi Pedagogik Guru dalam Menerapkan Proses Pembelajaran Berbasis Pendekatan Saintifik Melalui Supervisi Kunjungan Kelas Di SMPN 18 Dumai. Jurnal PAJAR (Pendidikan dan Pengajaran), 3(4), 859-869.

- Anita, D. E. J., & Yanti, R. (2023). Peningkatan Kemampuan Kognitif IPA Siswa Melalui Pembelajaran Problem Solving Berbasis Pendekatan Saintifik. *Jurnal PELITA*, 3(1), 57–64. <https://doi.org/10.54065/pelita.3.1.2023.209>
- Apriani, T., & Rahayu, P. Y. (2022). Peningkatan Hasil Belajar IPA Melalui Pembelajaran Kooperatif Tipe Student Facilitator And Explaining. *Jurnal PELITA*, 2(2), 44–51. <https://doi.org/10.54065/pelita.2.2.2022.100>
- Bachtiar, B. (2020). Pengintegrasian Teknologi Informasi dan Komunikasi dan Dampaknya terhadap Pedagogi Guru: Kajian Pustaka. *EduPsyCouns: Journal of Education, Psychology and Counseling*, 2(2), 132-146.
- Baharizqi, S. L., Muhtar, T., Herlambang, Y. T., & Fahrozy, F. P. N. (2023). Kompetensi Pedagogik Di Era Society 5.0: Sebuah Tinjauan Dalam Perspektif Pedagogik Kritis. *ELEMENTARY SCHOOL JOURNAL PGSD FIP UNIMED*, 13(2), 259-257. <https://doi.org/10.24114/esjpgsd.v13i2.46286>
- Davidi, E. I. N., Sennen, E., & Supardi, K. (2021). Integrasi Pendekatan STEM (Science, Technology, Enggeenering and Mathematic) untuk Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Sekolah Dasar. *Scholaria: Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 11(1), 11-22. <https://doi.org/10.24246/j.js.2021.v11.i1.p11-22>
- Diana, H. A., & Saputri, V. (2021). Model Project Based Learning Terintegrasi STEAM Terhadap Kecerdasan Emosional dan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Berbasis Soal Numerasi. *Numeracy*, 8(2), 113-127. <https://doi.org/10.46244/numeracy.v8i2.1609>
- Eliza, D., Mulyeni, T., Budayawan, K., Hartati, S., Khairiah, F., & Permana, A. I. (2022). Pengembangan Teknologi Digital Cerita Sains Terintegrasi Kearifan Lokal untuk Anak Usia Dini. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini*, 6(6), 7069-7077. <https://doi.org/10.31004/obsesi.v6i6.3640>
- Fakhriyah, F., Masfuah, S., & Hilyana, F. S. (2023). Pengembangan Pembelajaran TPACK Berbasis Literasi Sains. Penerbit NEM.
- Farikah, F., & Al Firdaus, M. M. (2020). Technological Pedagogical and Content Knowledge (TPACK): The Students' Perspective On Writing Class. *Jurnal Studi Guru dan Pembelajaran*, 3(2), 190-199. <https://doi.org/10.30605/jsgp.3.2.2020.303>
- Hapsari, A. (2019). Implementasi Pendekatan Multiliterasi untuk Pengajaran Membaca dan Menulis Berbahasa Inggris di Matakuliah Reading and Writing For Occupational Purposes. *Refleksi Pembelajaran Inovatif*, 1(1). <https://doi.org/10.20885/rpi.vol1.iss1.art5>
- Laskyana, B., Triatna, C., & Nurdin, N. (2022). Kajian Pedagogik dalam Implementasi STEAM pada Pembelajaran Jarak Jauh di Era Pandemi. *SAP (Susunan Artikel Pendidikan)*, 7(1), 50-58. <http://dx.doi.org/10.30998/sap.v7i1.12972>
- Lestari, W. D., Yuhanna, W. L., & Lukitasari, M. (2020). Pengembangan Media Bio Pop-Up Book Terintegrasi Science, Environment, Technology, and Society (SETS) pada Pembelajaran Biologi Materi Daur Biogeokimia. *JEMS: Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*, 8(2), 130-139. <http://doi.org/10.25273/jems.v8i2.7442>

- Ningsih, R., & Adhalia, N. F. (2022). Pembelajaran IPA Terpadu Berbasis Tematik Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis dan Karakter Siswa di SMP Al Madina 1 Nabire. *Jurnal PELITA*, 2(2), 76–83. <https://doi.org/10.54065/pelita.2.2.2022.32>
- Nur'ariyani, S., Jumyati, J., & Nulhakim, L. (2022). Pengembangan Kurikulum Pendidikan Berbasis Teknologi. *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*, 4(6), 10770-10775. <https://doi.org/10.31004/jpdk.v4i6.10130>
- Nur'ariyani, S., Jumyati, J., & Nulhakim, L. (2022). Pengembangan Kurikulum Pendidikan Berbasis Teknologi. *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*, 4(6), 10770-10775. <https://doi.org/10.31004/jpdk.v4i6.10130>
- Oktaviani, A., Anom, K., & Lesmini, B. (2020). Pengembangan Modul Kimia Terintegrasi STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) dan PBL (Problem-Based Learning). *Journal of Educational Chemistry (JEC)*, 2(2), 64. <http://doi.org/10.21580/jec.2020.2.2.6279>
- Pratiwi, U., & Nurhidayati, N. (2017). Penerapan Sains Teknologi Masyarakat (STM) untuk Peningkatkan Kemampuan Pedagogik Guru dan Calon Guru PAUD Kec. Panjer Kab. Kebumen. *Journal of Dedicators Community*, 1(1), 82-93. <https://doi.org/10.34001/jdc.v1i1.441>
- Prihandini, R. M., & Setiawani, S. (2022). Pendampingan Pengembangan E-LKPD Berbasis Inquiry Based Learning Terintegrasi Internet of Thing (IoT) sebagai Upaya Peningkatan Kompetensi Pedagogik Digital Guru. *JPKMI (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Indonesia)*, 3(4), 297-310. <https://doi.org/10.36596/jpkmi.v3i4.556>
- Putri, D. L., & Zulyusri, Z. (2023). Meta-Analisis Validitas Penggunaan E-Module Terintegrasi Pendekatan Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics (STEAM). *Journal on Teacher Education*, 4(4), 405-412.
- Ratri, F. K. (2021). Integrasi Technological Pedagogical and Content Knowledge dalam Perangkat Pembelajaran Tematik Kelas 3. *JANACITTA*, 4(2). <https://doi.org/10.35473/jnctt.v4i2.1139>
- Retno, R. S., & Marlina, D. (2018). Implementasi SETS (Science Environment Technology and Society) pada Pembelajaran IPA SD Berbasis Inquiry terhadap Berpikir Ilmiah Siswa Kelas 4 MI Al-Irsyad Madiun. *BIO-PEDAGOGI: Jurnal Pembelajaran Biologi*, 7(2), 54-58. <https://doi.org/10.20961/bio-pedagogi.v7i2.27618>
- Salleh, A. A. H. B. M., & Halim, L. B. (2023). Pelaksanaan Pendidikan STEM: Pengetahuan Pedagogi Isi Kandungan, Sikap, Kemahiran Pedagogi dan Penilaian guru. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 8(2), e002146-e002146. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v8i2.2146>
- Yunansah, H., Yuniarti, Y., Herlambang, Y. T., Wahid, R., & Hendriyani, A. (2022). Rancang bangun media bahan ajar digital berbasis multimodalality dalam pendekatan pedagogik futuristik. *Naturalistic: Jurnal Kajian dan Penelitian Pendidikan dan Pembelajaran*, 6(2), 1136-1149. <https://doi.org/10.35568/naturalistic.v6i2.1881>
- Zaid, M., Razak, F., & Alam, A. A. F. (2022). Keefektifan Media Pembelajaran Augmented Reality Berbasis STEAM dalam Meningkatkan Kualitas Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar. *Jurnal PELITA*, 2(2), 59–68. <https://doi.org/10.54065/pelita.2.2.2022.316>