



Peluang dan Tantangan Penggunaan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK Pada Materi Kimia Bagi Generasi Z di Era *Society 5.0*

Desire Atna Sridanty Rumondor¹, Jakub Saddam Akbar^{2*}, Fransiska Harahap³, Djakariah⁴

^{1,2}Prodi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumian, Universitas Negeri Manado

³Jurusan Pendidikan IPA, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumian, Universitas Negeri Manado

⁴Prodi Pendidikan Sejarah, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Cendana

*e-mail: jakubakbar@unima.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan menginvestigasi peluang dan tantangan penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi kimia bagi generasi Z dalam konteks era *society 5.0*. Dalam penelitian ini, dilakukan identifikasi, analisis, evaluasi, dan interpretasi riset terkait penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK yang tersedia dari tahun 2014 hingga 2024, yang berkaitan dengan topik pembelajaran kimia. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) yang bertujuan menjawab pertanyaan penelitian terkait dengan peluang dan tantangan penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK menggunakan *database* artikel *online* yaitu ERIC dan *Google Scholar*. Berdasarkan analisis literatur, dapat disimpulkan bahwa penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam proses pembelajaran kimia menghadirkan sejumlah peluang yaitu peningkatan keterlibatan siswa, peningkatan pemahaman konsep, meningkatkan keterampilan berpikir kritis, meningkatkan daya ingat dan pemahaman jangka panjang, serta peningkatan keterampilan teknologi sedangkan tantangannya meliputi infrastruktur dan aksesibilitas, pelatihan guru yang tidak cukup, ketersediaan sumber daya yang terbatas, serta kesulitan dalam integrasi TPACK secara holistik. Implikasi dari temuan ini dapat memberikan panduan praktis bagi institusi pendidikan dalam mengadopsi perangkat pembelajaran berbasis TPACK secara efektif dalam proses pembelajaran kimia.

Kata kunci: TPACK, pembelajaran kimia, era *society 5.0*

Abstract. *This study aims to investigate the opportunities and challenges of using TPACK-Based Learning Tools on Chemistry for generation Z in the context of the Society 5.0 Era. In this study, research identification, analysis, evaluation, and interpretation were carried out related to the use of TPACK-based learning tools available from 2014 to 2024, related to chemistry learning topics. The method used is Systematic Literature Review (SLR) which aims to answer research questions related to the opportunities and challenges of using TPACK-based learning tools using online article databases, namely ERIC and Google Scholar. Based on literature analysis, it can be concluded that the use of TPACK-based learning tools in the chemistry learning process presents a number of opportunities, namely increased student engagement, increased understanding of concepts, improved critical thinking skills, improved memory and long-term understanding, and improved technology skills while the challenges include infrastructure and accessibility, insufficient teacher training, limited availability of resources, and difficulties in holistic integration of TPACK. The implications of these findings can provide practical guidance for educational institutions in adopting TPACK-based learning tools effectively in the chemistry learning process.*

Keywords: TPACK, chemistry learning, society era 5.0

Diterima 13 Maret 2024 | Disetujui 01 Mei 2024 | Diterbitkan 30 Juni 2024

PENDAHULUAN

Kemajuan dalam bidang teknologi, komunikasi, serta sarana informasi memberikan dampak signifikan pada perkembangan pendidikan di abad ke-21, mengakibatkan terjadinya perubahan yang dapat menimbulkan tantangan dan harapan baru bagi para guru dan sekolah saat ini (Valtonen, Sointu, Kukkonen, Kontkanen, Lambert, & Mäkitalo-Siegl, 2017). Ciri khas khusus pada abad ke-21 mencakup penggunaan peralatan yang berbasis pada komputasi, ketersediaan informasi yang sangat cepat, serta kemudahan pada akses dalam menggunakan alat komunikasi tanpa terbatas oleh waktu dan tempat. Pemanfaatan teknologi informasi yang digunakan pada proses pembelajaran memungkinkan pemilihan jenis media dan sumber belajar yang mendukung kelancaran proses belajar mengajar. Pembelajaran pada abad ke-21 melibatkan integrasi teknologi dalam proses pembelajaran, sehingga menuntut calon guru atau guru untuk dapat memiliki penguasaan yang baik terhadap teknologi.

Pendidikan tidak hanya mengalirkan informasi, tetapi juga melibatkan usaha untuk memperkuat keterampilan, nilai-nilai, dan pemahaman yang mendalam tentang lingkungan sekitar. Proses ini melibatkan serangkaian fase atau langkah kompleks dan multidimensional dengan tujuan memfasilitasi perkembangan siswa dalam berbagai aspek kehidupan (Pongpalilu, Hamsiah, Raharjo, Sabur, Nurlela, Hakim, ... & Tresnawati, 2023). Pendidikan tidak terbatas pada masa sekolah formal, tetapi berlangsung sepanjang hidup seseorang. Setiap individu seharusnya diberikan kesempatan untuk terus belajar, meningkatkan keterampilan dan berusaha memperoleh pengetahuan baru sepanjang perjalanan hidupnya (Ramli, Putri, Trimadona, Abadi, Ramadani, Saputra, ... & Mahmudah, 2023).

Kehadiran siswa pada abad ke-21 mencerminkan perubahan besar dalam perspektif kita terhadap pembelajaran. Era ini tidak hanya membawa tantangan

baru, tetapi juga membuka peluang besar untuk membentuk individu yang siap menghadapi perubahan yang terus-menerus di dunia saat ini. Pada era pendidikan abad ke-21, setiap pendidik dihadapkan pada tuntutan untuk menjadi lebih kreatif dan inovatif dalam menyampaikan materi pembelajaran (Ariani, Zulhawati, Haryani, Zani, Husnita, Firmansyah, ... & Hamsiah, 2023).

Salah satu aspek dari profil lulusan dalam program studi pendidikan kimia adalah menjadi tenaga kependidikan atau calon guru kimia yang memiliki tingkat profesionalisme tinggi (Akbar, Dasna, & Wonorahardjo, 2019). Hal ini terkait dengan keprofesionalan baik selama melaksanakan tugas sebagai guru yang sudah berada dalam pelayanan (*inservice teacher*) maupun ketika masih dalam tahap pendidikan (*preservice teacher*). Mahasiswa diharapkan untuk memiliki kemampuan untuk menguasai keahlian dan pengetahuan ilmiah, termasuk pemahaman akan teori dan konten, serta perkembangan terkini dalam bidang tertentu. Selain itu, diperlukan penguasaan pada pengetahuan pedagogik, yang mencakup kemampuan memahami karakteristik siswa, menguasai teori pembelajaran, memilih metode dan strategi pembelajaran, menentukan jenis materi, menyusun perangkat proses pembelajaran, dan kemampuan mengelola kelas dengan efektif.

Kimia merupakan cabang ilmu pengetahuan yang membangun sikap, pemahaman konsep, dan keterampilan yang diperlukan untuk mencapai kompetensi dan tujuan pembelajaran. Tujuan tersebut dapat terwujud apabila calon guru memiliki pemahaman dan penguasaan yang baik terhadap pengetahuan konten, pedagogi, dan teknologi. Pernyataan tersebut sejalan dengan pandangan (Birisci & Kul, 2019) yang menyatakan bahwa guru di masa depan akan sangat membutuhkan pemahaman dan penguasaan dalam memanfaatkan teknologi yang terkait dengan pengetahuan konten dan pedagogi, agar mampu menciptakan

proses pembelajaran yang efektif di dalam kelas.

Berdasarkan penelitian terbaru diketahui bahwa keberhasilan yang terjadi pada pembelajaran abad ke-21 dapat dicapai dengan melibatkan penggunaan teknologi informasi, pemahaman materi, dan strategi pengajaran yang bekerja secara sinergis (Rosenberg & Koehler, 2015). Implementasi pada proses kegiatan belajar mengajar perlu menggabungkan atau menyatukan pengetahuan teknologi, materi, dan pedagogi agar saling terintegrasi, mendukung proses belajar-mengajar (Koehler & Mishra, 2009). Oleh karena itu, dalam konteks pembelajaran abad ke-21, seorang guru perlu memiliki kemampuan pada *Pedagogical Content Knowledge* (PCK) yang terintegrasi dengan teknologi untuk menyampaikan materi pembelajaran. Integrasi antara teknologi dan PCK menghasilkan konsep baru yang dikenal sebagai *Technological Pedagogical and Content Knowledge* (TPACK). TPACK merupakan konsep yang berguna untuk memahami integrasi teknologi dalam pembelajaran dan pengajaran, dan saat ini digunakan dalam proyek penelitian dan pengembangan untuk pendidik guru (Baran, Chuang, & Thompson, 2011). Meskipun demikian, menurut Niess (2011), TPACK menghadapi sejumlah tantangan dalam proses implementasi serta pengembangannya.

Kemampuan TPACK ini dapat membantu calon guru atau guru untuk mengoptimalkan proses belajar mengajar sesuai dengan tuntutan perkembangan pembelajaran di abad ke-21. Guru dapat memperkaya pengetahuan mereka melalui pemahaman konteks yang lebih mendalam dan melalui cerita pribadi, memungkinkan pembangunan pengetahuan yang berkelanjutan. Melalui pendekatan ini, TPACK menjadi alat yang lebih efektif dalam membantu guru mengintegrasikan teknologi dalam praktik mengajar mereka (Porrás-Hernández & Salinas-Amescua, 2013). TPACK, sebagai kerangka konseptual, dapat membimbing guru dalam memahami hubungan kompleks antara

pengetahuan subjek, keterampilan pedagogis, dan keahlian teknologi, yang dapat meningkatkan pencapaian siswa dalam Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) (Khine, Ali, & Afari, 2017). Pengetahuan TPACK guru sains sekolah menengah bervariasi secara signifikan berdasarkan jenis kelamin dan pengalaman mengajar, dengan guru pria menunjukkan pengetahuan teknologi yang lebih tinggi dan guru perempuan menunjukkan pengetahuan konten yang lebih tinggi (Jang & Tsai, 2013).

Melalui konsep pembelajaran berbasis TPACK, keterampilan mengajar seorang guru menjadi lebih spesifik, tidak hanya membahas cara mengajar konten tertentu. Sebagai contoh, mengajar tentang larutan penyangga akan berbeda dengan mengajar larutan elektrolit dan non-elektrolit. Oleh karena itu, seorang guru perlu memiliki pengetahuan konten yang mencakup pemahaman tentang materi pelajaran yang diajarkan, dan pengetahuan pedagogi yang mencakup pemahaman tentang proses belajar mengajar materi tertentu. Dengan kemampuan untuk mengintegrasikan teknologi, pengetahuan pedagogi, dan pengetahuan konten (TPACK), diharapkan seorang guru dapat meningkatkan kompetensinya, terutama dalam konteks pembelajaran abad ke-21. Keberadaan konsep pengetahuan TPACK dalam pembelajaran menjadi penting bagi calon guru untuk mengevaluasi kesiapan mereka dalam mengajar di kelas. Mahasiswa sebagai calon guru dapat mengaplikasikan kerangka TPACK sebagai alat untuk menilai kemampuan mereka dalam setiap aspek yang tercakup dalam TPACK. Dengan demikian, diharapkan mahasiswa calon guru dapat lebih mempersiapkan diri untuk memasuki dunia kerja.

Pendidikan dalam era *society* 5.0 membawa tantangan dan peluang baru dalam pemanfaatan teknologi. Salah satu pendekatan yang muncul adalah penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) pada materi kimia untuk generasi Z. Dengan memadukan pengetahuan teknologi,

pedagogi, dan konten kimia, metode ini memberikan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan relevan, menciptakan suasana pembelajaran yang memotivasi dan meningkatkan pemahaman konsep-konsep kimia secara holistik. Tidak hanya memberikan solusi terhadap tantangan pendidikan masa kini, tetapi juga membuka peluang baru untuk menciptakan generasi Z yang memiliki keterampilan berpikir kritis dan adaptabilitas teknologi yang diperlukan dalam menghadapi dinamika *society* 5.0. Penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi kimia untuk generasi Z memiliki hubungan yang erat dengan karakteristik dan preferensi belajar khas generasi ini. Generasi Z, yang tumbuh dalam era teknologi canggih, cenderung lebih responsif terhadap pengalaman belajar yang terintegrasi dengan teknologi. Generasi Z dikenal sebagai digital *native* karena terbiasa dengan teknologi sejak lahir. Pendekatan TPACK yang memanfaatkan perangkat lunak, aplikasi, dan alat digital menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih akrab dan menarik bagi generasi ini. Melalui pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran kimia, TPACK menciptakan peluang bagi generasi Z untuk terlibat secara aktif dan kreatif. Dengan mengintegrasikan TPACK pada pembelajaran kimia, pendidik dapat menciptakan lingkungan belajar yang sesuai dengan preferensi dan kebutuhan generasi Z, sekaligus mempersiapkan mereka untuk menghadapi dunia yang semakin terkoneksi dan berubah.

METODE PENELITIAN

Metode riset merupakan pendekatan ilmiah yang digunakan untuk mengumpulkan data dengan tujuan spesifik dan manfaat yang jelas (Kurniawan, Hakim, Sanulita, Maiza, Arisanti, Rismawan, ... & Amalia, 2023). Salah satu metodenya, yaitu *Systematic Literature Review* (SLR) yang merupakan metode penelitian dengan melibatkan identifikasi, evaluasi, dan sintesis studi penelitian yang telah ada pada suatu topik secara sistematis dan terstruktur. Dalam

konteks ini, metode tersebut diterapkan untuk menemukan dan mengevaluasi temuan dari studi-studi yang relevan mengenai penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi kimia. Untuk melaksanakan penelitian ini, artikel-artikel jurnal dikumpulkan dari *Google Scholar*, Sinta, dan ERIC dengan menggunakan kata kunci “Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK” dan “Pembelajaran Kimia”.

Rentang tahun publikasi artikel-artikel yang terkumpul mencakup periode antara tahun 2014 hingga 2024. Dari sejumlah artikel tersebut, dipilih 10 artikel yang sangat relevan dengan kata kunci yang ditetapkan. Informasi terkait artikel-artikel ini, seperti nama penulis, tahun publikasi, judul artikel, dan temuan dari penelitian yang dilakukan, disusun dalam sebuah tabel. Artikel-artikel yang terpilih kemudian dianalisis secara mendalam, terutama fokus pada bagian pembahasan dan kesimpulan yang menyoroti hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelusuran artikel, maka didapatkan 10 artikel yang relevan tentang penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK. Data ringkas hasil *review* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian terkait penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi kimia

No	Nama dan Tahun	Judul	Temuan Penelitian
1	Mairisiska, Sutrisno, & Asrial (2014)	Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi sifat koligatif larutan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa.	Mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Semua komponen TPACK mempunyai keterkaitan antara satu sama lain dan memiliki dampak yang besar dalam pembelajaran

No	Nama dan Tahun	Judul	Temuan Penelitian
2	Yuniandriyani, Muhaimin, & Ernawati (2022)	Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah pada materi hidrolisis garam di SMA	Perangkat pembelajaran yang dikembangkan memiliki keterkaitan dan saling mendukung antara komponen TPACK. perangkat pembelajaran dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah pada materi hidrolisis garam dengan dilihat nilai t_{hitung} (27,557) lebih besar dari t_{tabel} (2,048) pada taraf nyata 95%.
3	Hayati, Sutrisno, & Lukman (2014)	Pengembangan kerangka kerja TPACK pada materi koloid untuk meningkatkan aktivitas pembelajaran dalam mencapai HOTS siswa	1) Kerangka kerja TPACK pada materi koloid yang telah dikembangkan dapat mengoptimalkan aktivitas pembelajaran siswa. 2) Kerangka kerja TPACK pada materi koloid yang telah dikembangkan kerangka kerja TPACK pada materi koloid yang telah dikembangkan “cukup” mampu mendorong tercapainya HOTS siswa.
4	Irmita & Atun (2017)	Pengembangan perangkat pembelajaran	RPP dan LKS pembelajaran dikembangkan untuk

No	Nama dan Tahun	Judul	Temuan Penelitian
		n menggunakan pendekatan TPACK untuk meningkatkan literasi sains	meningkatkan literasi sains yang mencakup ketiga aspek yaitu aspek konteks sains, konten sains dan proses sains. Hasil uji kelayakan menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran dikatakan memiliki kelayakan yang baik dengan rata-rata skor untuk RPP yaitu 49,75 dan untuk LKS pembelajaran yaitu 43,5.
5	Kurnianto & Sarwono (2023)	Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam meningkatkan aktivitas belajar dan kemampuan pemecahan masalah siswa	Uji kelayakan dengan bantuan perhitungan Aiken's V menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran dikategorikan memiliki validitas yang tinggi. Sedangkan rata-rata skor kemampuan pemecahan masalah siswa secara keseluruhan termasuk dalam kategori baik.
6	Joharmawan (2021)	<i>Perception profile of content knowledge and technological pedagogy of chemistry teachers and the quality of their implementation in the</i>	Penelitian ini menyarankan bahwa sementara guru kimia mungkin memiliki persepsi TPACK yang sedang, masih ada ruang untuk meningkatkan

No	Nama dan Tahun	Judul	Temuan Penelitian
		<i>development of RPP and chemistry learning</i>	n efektivitas implementasi teknologi baik dalam perencanaan pembelajaran maupun pembelajaran di kelas, dengan fokus pada komponen TPACK tertentu.
7	Lukas, Müller, Huwer, Drüke-Noe, Koppel, Rebholz, ... & Weitzel (2019)	<i>Improving students' track through learning labs: the implementation of ichemlab and steam makerspace</i>	Penggunaan laboratorium pembelajaran, seperti <i>iChemLab</i> dan STEAM <i>Makerspace</i> , menyediakan lingkungan praktis dan berorientasi pada pengalaman bagi mahasiswa pendidikan guru. Hal ini memungkinkan mereka untuk menjelajahi dan mengembangkan keterampilan pengetahuan teknologi-pedagogi konten (TPACK), khususnya dalam konteks pendidikan STEAM.
8	Schubatzky, Burde, Große-Heilmann, Haagen-Schützenhöfer, Riese, & Weiler (2023)	<i>Predicting the development of digital media PCK/TPACK: The role of PCK, motivation to use digital media, interest in and previous experience</i>	Penelitian ini memberikan wawasan tentang faktor-faktor yang memengaruhi pengembangan PCK media digital pada mahasiswa calon guru dan memberikan saran untuk

No	Nama dan Tahun	Judul	Temuan Penelitian
		<i>with digital media</i>	penelitian lebih lanjut guna meningkatkan integrasi media digital dalam praktik pengajaran demi hasil pembelajaran siswa yang lebih baik.
9	Abouelenein & Selim, (2024)	<i>Impact of digital interventions on the development of TPACK: Interviews, reports, and video simulation among pre-service teachers.</i>	Penelitian ini memberikan wawasan yang bernilai tentang pengaruh lingkungan digital terhadap perkembangan TPACK calon guru kimia dan menawarkan arah penelitian dan rekomendasi praktis untuk mendukung integrasi TPACK dalam konteks pembelajaran <i>online</i> .
10	Imaduddin & Astuti, (2022)	<i>Strengthening chemistry teachers' technological pedagogical content knowledge through the introduction of augmented reality and learning management systems</i>	Penelitian ini memberikan pandangan awal tentang kondisi TPACK guru kimia dan usaha awal untuk memperkuatnya melalui pengenalan teknologi. Pengenalan teknologi <i>Augmented Reality</i> (AR) dan <i>platform</i> sistem manajemen pembelajaran menunjukkan upaya untuk memperkaya metode

No	Nama dan Tahun	Judul	Temuan Penelitian
			pengajaran dan mendukung pembelajaran berbasis elektronik.

Peluang Penggunaan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK Pada Materi Kimia Bagi Generasi Z di Era Society 5.0

Berdasarkan rangkuman penelitian yang dilakukan tentang penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dapat disimpulkan bahwa pendekatan TPACK dalam pembelajaran menawarkan potensi besar dalam meningkatkan pemahaman siswa. Dalam konteks ini, berbagai penelitian telah menegaskan peluang dan tantangan penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam proses pembelajaran. Berikut adalah penjelasan terkait peluang dan tantangan penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam proses pembelajaran kimia.

Peningkatan Keterlibatan Siswa

Penggunaan teknologi dalam pembelajaran kimia dapat membuat pembelajaran lebih menarik dan interaktif bagi siswa. Siswa dapat terlibat lebih aktif melalui simulasi, animasi, dan eksperimen virtual, yang membantu meningkatkan minat mereka terhadap subjek. Penggunaan teknologi seperti simulasi, animasi, dan eksperimen virtual dapat meningkatkan motivasi siswa dalam pembelajaran kimia. Faktor visual dan interaktif teknologi dapat membuat materi pembelajaran lebih menarik dan memicu ketertarikan siswa untuk lebih aktif terlibat dalam proses belajar. Temuan Mas'un & Saparudin (2022) menunjukkan bahwa pendekatan TPACK telah berhasil dan efektif meningkatkan kemampuan komunikasi dan kolaborasi siswa. Hal ini tentunya akan meningkatkan keterlibatan siswa dalam pembelajaran.

Peningkatan Pemahaman Konsep

Integrasi TPACK dalam proses pembelajaran kimia memungkinkan guru

untuk menyajikan konsep-konsep kimia secara lebih visual dan dinamis. Penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dapat memfasilitasi penyajian materi dengan berbagai media, seperti video, simulasi, dan gambar interaktif, sehingga membantu siswa memahami konsep-konsep kimia dengan lebih baik. Dengan perangkat lunak simulasi dan model 3D, siswa dapat secara visual mengamati reaksi kimia, struktur molekuler, dan konsep-konsep kimia lainnya. Hal ini dapat membantu siswa menggambarkan konsep-konsep yang sulit dimengerti secara abstrak. Visualisasi membantu siswa untuk membentuk gambaran mental yang lebih kuat tentang materi pembelajaran.

TPACK memungkinkan penerapan eksperimen virtual di mana siswa dapat "mengulangi" maupun "melakukan" eksperimen berkali-kali tanpa batasan waktu atau bahan kimia yang terbatas (Akbar & Djakaria, 2023). Eksperimen virtual memberikan pengalaman praktis yang mendukung pemahaman konsep dan memperkuat keterkaitan antara teori dan praktek. Integrasi TPACK memungkinkan guru menyediakan sumber daya digital yang mendukung pembelajaran, seperti video, artikel, dan presentasi interaktif. Sumber daya digital ini memberikan konteks tambahan dan variasi dalam penyampaian informasi, mendukung pemahaman konsep secara komprehensif. Guru dapat menyesuaikan metode pembelajaran berbasis TPACK untuk memenuhi kebutuhan spesifik siswa atau kelas tertentu. Melalui adaptasi pembelajaran, guru dapat fokus pada konsep-konsep yang paling menantang bagi siswa, mendukung pemahaman mereka secara lebih mendalam.

TPACK mengajarkan guru untuk menggunakan teknologi sebagai alat untuk mendukung pengajaran, bukan hanya sebagai hiburan. Dengan pendekatan ini, teknologi menjadi sarana untuk memberikan pemahaman yang lebih baik tentang konsep-konsep kimia secara efektif. Penggunaan TPACK dalam pembelajaran kimia tidak hanya menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih menarik, tetapi juga membantu

siswa untuk memahami konsep-konsep kimia secara lebih mendalam dan relevan dengan dunia mereka. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada tingkat pemahaman dan berdampak pada hasil belajar siswa. Temuan Hayati (2022) mengungkapkan bahwa pendekatan TPACK dalam pembelajaran sains dapat meningkatkan hasil belajar siswa. Selain itu temuan lain menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis TPACK yang telah dikembangkan mampu meningkatkan kegiatan pembelajaran siswa dan meningkatkan kemampuan pemecahan masalah siswa (Kurnianto & Sarwono, 2023).

Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis

Penggunaan teknologi dalam konteks TPACK dapat memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis dan analitis siswa. Siswa dapat diajak untuk menganalisis data, menyusun argumen, dan menarik kesimpulan berdasarkan informasi yang mereka dapatkan. Siswa dapat menggunakan perangkat lunak simulasi untuk melakukan eksperimen virtual dan mengumpulkan data. Melalui analisis data, siswa dapat mengidentifikasi pola, tren, dan hubungan dalam hasil eksperimen, membangun keterampilan analitis. Penggunaan sumber daya digital dalam pembelajaran kimia dapat memerlukan siswa untuk mengevaluasi kredibilitas dan relevansi informasi dari berbagai sumber.

Siswa perlu mempertimbangkan validitas data dan argumen untuk membuat keputusan yang informasional dan kritis. Siswa dapat menggunakan perangkat lunak simulasi dan model 3D untuk memahami konsep-konsep kimia secara lebih mendalam. Melalui pemodelan, siswa dapat mengembangkan pemahaman yang lebih baik tentang struktur molekuler, reaksi kimia, dan properti kimia, mendorong berpikir kritis dan logis. Platform pembelajaran daring dapat digunakan untuk mengadakan debat dan diskusi *online*. Siswa diajak untuk menyusun argumen, merespons pendapat orang lain, dan mengembangkan

keterampilan berpikir kritis melalui pertukaran ide.

Siswa dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritis saat mereka mencari solusi, merancang eksperimen, dan menyajikan temuan mereka dalam format yang koheren. Guru dapat memperkenalkan alat analisis kimia lanjutan dan perangkat lunak simulasi yang memerlukan pemahaman mendalam dan berpikir kritis. Melalui pemecahan masalah menggunakan alat ini, siswa dapat mengasah keterampilan berpikir kritis mereka. Proyek berbasis teknologi yang mengharuskan siswa membuat presentasi dalam bentuk digital dapat memperkuat keterampilan berpikir kritis mereka. Melibatkan siswa dalam aktivitas berbasis TPACK, seperti eksplorasi digital, proyek kolaboratif, dan analisis data, dapat merangsang dan memperkaya keterampilan berpikir kritis mereka, menciptakan lingkungan pembelajaran yang mendukung perkembangan kemampuan berpikir secara analitis dan reflektif. Pernyataan ini didukung oleh temuan Mairisiska, Sutrisno, & Asrial (2014) yang menunjukkan bahwa penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK secara signifikan meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa, dengan rata-rata mencapai 66,3% dalam kategori keseluruhan "baik". Selain itu, temuan Hayati, Sutrisno, & Lukman (2014) menunjukkan bahwa pengembangan kerangka kerja TPACK pada materi koloid dapat meningkatkan aktivitas pembelajaran dalam mencapai kemampuan berpikir tingkat tinggi (HOTS) siswa.

Meningkatkan Daya Ingat dan Pemahaman Jangka Panjang

Penggunaan teknologi dalam proses pembelajaran kimia dapat membantu siswa mempertahankan informasi lebih baik. Eksperimen virtual, simulasi, dan interaksi dengan konten digital dapat membantu membangun pemahaman jangka panjang dan mengurangi tingkat lupa setelah pembelajaran. Eksperimen virtual dan simulasi memungkinkan siswa untuk berpartisipasi dalam situasi yang meniru eksperimen nyata tanpa risiko

atau keterbatasan di laboratorium. Melalui pengalaman ini, siswa dapat membangun pemahaman mendalam tentang konsep-konsep kimia, yang dapat lebih mudah dipertahankan dalam ingatan jangka panjang. Visualisasi konsep kimia melalui perangkat lunak simulasi atau model 3D membantu siswa membentuk gambaran mental yang kuat tentang struktur molekuler, reaksi kimia, dan fenomena kimia lainnya. Penelitian yang dilakukan oleh Wong, Tsang, & Chiu (2021) menunjukkan bahwa siswa mengalami peningkatan pemahaman dan ingatan tentang gambaran senyawa yang rumit setelah menggunakan teknologi. Kombinasi dari pengalaman visual dan interaktif dalam teknologi sering kali membuat pembelajaran menjadi lebih tahan lama dalam ingatan siswa, karena pengalaman yang mereka alami cenderung lebih *memorable*.

Gambaran mental yang kuat dapat menjadi fondasi untuk pemahaman yang lebih tahan lama. Selain itu, penggunaan perangkat pembelajaran melalui permainan edukatif dengan elemen interaktif dan tantangan dapat meningkatkan daya tarik siswa terhadap pembelajaran kimia. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Boletsis & McCallum (2013) menunjukkan bahwa penerapan teknologi dalam bentuk permainan, terutama terkait unsur-unsur tabel periodik, dapat menjadi sarana efektif untuk menjelaskan konsep kimia yang kompleks dengan cara yang menarik dan mudah dipahami. Melalui permainan, siswa dapat belajar secara aktif dan melibatkan diri dalam tantangan yang merangsang pikiran, yang mendukung pemahaman jangka panjang. Penggunaan video, animasi, dan presentasi multimedia dapat membantu menyajikan konsep-konsep kimia dengan cara yang menarik dan memudahkan pemahaman. Materi pembelajaran yang disajikan dalam format multimedia cenderung lebih mudah diingat daripada informasi yang diterima secara pasif.

Peningkatan Keterampilan Teknologi

TPACK memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan berbagai perangkat

lunak dan aplikasi yang digunakan dalam dunia kimia, seperti perangkat lunak simulasi molekuler, perangkat lunak analisis data, dan alat permodelan kimia. Melalui penggunaan aplikasi ini, siswa dapat memperoleh keterampilan dalam mengoperasikan perangkat lunak yang umumnya digunakan di laboratorium dan industri kimia. Siswa dapat memiliki kemampuan keterampilan penggunaan teknologi melalui partisipasi dalam eksperimen virtual dan simulasi yang memerlukan interaksi dengan perangkat lunak khusus. Pengalaman ini mempersiapkan mereka dengan pemahaman praktis tentang cara menggunakan teknologi dalam eksplorasi dan pemahaman konsep kimia. Melalui penggunaan *platform* pembelajaran daring, siswa belajar berkolaborasi, mengakses materi pembelajaran, dan berpartisipasi dalam diskusi *online*. Keterampilan teknologi seperti navigasi daring, kolaborasi *online*, serta manajemen *platform* pembelajaran dapat dikembangkan dalam konteks ini. TPACK memungkinkan siswa untuk mengakses dan memahami alat analisis kimia modern dan instrumen laboratorium yang terkait dengan teknologi. Pemahaman terhadap teknologi di laboratorium membantu persiapan siswa untuk bekerja di industri atau penelitian kimia yang seringkali menggunakan peralatan canggih.

Penggunaan TPACK memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan perangkat keras khusus kimia, seperti sensor atau perangkat analisis spektrofotometri. Pemahaman terhadap penggunaan dan pengelolaan perangkat keras ini menjadi aspek penting dalam pengembangan keterampilan teknologi siswa. Dengan menggabungkan TPACK dalam pembelajaran kimia, siswa tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep yang mereka miliki, tetapi juga mendapatkan keterampilan teknologi yang relevan dan diperlukan dalam konteks pendidikan dan dunia kerja. Temuan Maor (2017) menunjukkan bahwa penggunaan TPACK dalam kursus *e-learning* di pendidikan tinggi di Australia meningkatkan kemampuan peserta didik dalam menggunakan teknologi dalam

pembelajaran dan pengajaran, sehingga meningkatkan rasa percaya diri dan pemahaman penggunaan TPACK di dalam kelas mereka.

Tantangan Penggunaan Perangkat Pembelajaran Berbasis TPACK Pada Materi Kimia Bagi Generasi Z di Era Society 5.0

Meskipun penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) pada materi kimia memberikan banyak peluang, namun juga dihadapkan pada beberapa tantangan. Beberapa tantangan umum yang mungkin dihadapi dalam menerapkan TPACK dalam pembelajaran kimia meliputi:

Infrastruktur dan Aksesibilitas

Tidak semua sekolah atau daerah memiliki infrastruktur teknologi yang memadai. Beberapa sekolah mungkin memiliki keterbatasan dalam akses ke perangkat keras, koneksi internet yang stabil, atau perangkat lunak pendukung. Kesenjangan aksesibilitas ini dapat menghambat penerapan TPACK secara merata di seluruh lembaga pendidikan. Beberapa sekolah mungkin tidak memiliki jumlah perangkat keras yang memadai untuk mendukung penggunaan TPACK di kelas. Ini bisa mencakup komputer, tablet, atau perangkat lain yang diperlukan untuk pembelajaran teknologi. Kurangnya perangkat keras yang memadai dapat menghambat partisipasi siswa dalam aktivitas pembelajaran berbasis teknologi. Koneksi internet yang tidak stabil atau lambat dapat menghambat akses siswa dan guru ke sumber daya pembelajaran online, perangkat lunak simulasi, atau platform pembelajaran daring.

Keterbatasan akses internet dapat mengakibatkan pengalaman pembelajaran yang tidak konsisten dan bahkan kesulitan akses pada beberapa kasus. Ketersediaan perangkat lunak simulasi, aplikasi kimia, atau platform pembelajaran daring yang sesuai dengan TPACK dapat menjadi tantangan. Beberapa sekolah mungkin tidak memiliki akses ke sumber daya digital yang diperlukan untuk menyajikan konten kimia dengan cara yang interaktif.

Adanya kesenjangan digital antar daerah dapat menyebabkan perbedaan aksesibilitas antara sekolah-sekolah di daerah perkotaan dan pedesaan. Sekolah di daerah perkotaan mungkin lebih mampu menyediakan infrastruktur teknologi daripada sekolah di daerah pedesaan, menciptakan ketidaksetaraan dalam peluang pembelajaran. Biaya pengadaan dan pemeliharaan perangkat keras, pembelian lisensi perangkat lunak, dan koneksi internet dapat menjadi beban finansial bagi sekolah, terutama yang memiliki anggaran pendidikan terbatas. Keterbatasan anggaran yang dimiliki dapat menghambat kemampuan sekolah untuk bisa menginvestasikan dalam infrastruktur teknologi yang diperlukan.

Upaya untuk mengatasi tantangan ini memerlukan kolaborasi antara lembaga pendidikan, pemerintah, dan pihak berkepentingan lainnya. Investasi dalam pengembangan infrastruktur teknologi, dan strategi untuk mengatasi kesenjangan pada aksesibilitas dapat membantu menciptakan lingkungan pembelajaran yang lebih merata dan inklusif dalam konteks TPACK.

Pelatihan Guru yang Tidak Cukup

Dalam konteks pembelajaran, guru membutuhkan pelatihan intensif untuk mengembangkan keterampilan TPACK yang diperlukan. Tidak semua guru telah terlatih untuk mengintegrasikan teknologi dengan baik dalam pembelajaran mereka. Kurangnya pelatihan dapat menyebabkan ketidakpastian dalam penerapan TPACK dan penggunaan teknologi secara efektif. Pendidikan guru belum mencakup secara memadai pengembangan keterampilan TPACK. Menurut Picton (2019) dalam *National Literacy Trust* menyatakan bahwa sebagian besar guru memilih mendukung penggunaan teknologi dalam proses belajar mengajar. Namun, disebutkan juga bahwa kurangnya pelatihan menjadi hambatan utama bagi mereka yang ingin menerapkan teknologi dalam proses pembelajaran. Berdasarkan penelitian tersebut, sekitar 23,3% guru tidak mendapatkan pelatihan terkait penggunaan teknologi dalam kegiatan belajar mengajar. Temuan ini

menunjukkan bahwa pelatihan merupakan faktor kunci jika guru ingin mengintegrasikan teknologi ke dalam proses belajar mengajar dengan efektif. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rodríguez-Becerra, Cáceres-Jensen, Díaz, Druker, Bahamonde Padilla, Perna, & Aksela (2020) yang menyatakan bahwa guru sering menghadapi kesulitan dalam mengajar dengan efektif melalui pemanfaatan teknologi. Calon guru masih memiliki pemahaman yang terbatas dalam menerapkan teknologi dalam proses pembelajaran, meskipun saat ini mereka aktif menggunakan aplikasi teknologi dalam kehidupan sehari-hari (Lei, 2009). Penelitian lain menunjukkan bahwa guru masih mengalami keterbatasan dalam menggunakan teknologi dan sering tidak siap untuk mengintegrasikan teknologi dalam kegiatan belajar mengajar (Johnson, Jacovina, Russell, & Soto, 2016). Ottenbreit-Leftwich, Liao, Sadik, & Ertmer (2018) menyatakan bahwa guru yang sudah bekerja (*in service teacher*) seringkali tidak mendapatkan pengembangan profesional yang memadai untuk menghadapi perkembangan teknologi pendidikan yang cepat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang lebih tepat guna untuk mengatasi kelemahan-kelemahan ini di sekolah, termasuk memperkenalkan integrasi teknologi dengan strategi pembelajaran yang sesuai.

Pelatihan TPACK yang efektif dapat memerlukan pendekatan kolaboratif di antara guru, administrator sekolah, dan ahli TPACK. Pembelajaran dan berbagi pengalaman antar rekan guru dapat membantu mengatasi ketidakpastian dan membangun komunitas pembelajaran yang berkelanjutan. Mengatasi tantangan ini memerlukan dukungan yang holistik dari berbagai pihak, termasuk lembaga pendidikan, pemerintah, dan penyedia pelatihan. Upaya untuk membangun kesadaran, menyediakan akses ke sumber daya pelatihan yang memadai, dan memastikan bahwa pendekatan pelatihan bersifat praktis dan relevan dengan kebutuhan guru dapat membantu mengatasi kurangnya pelatihan yang cukup dalam konteks TPACK.

Ketersediaan Sumber Daya yang Terbatas

Tidak semua lembaga pendidikan mungkin memiliki sumber daya yang cukup untuk mendukung pengadaan perangkat keras atau perangkat lunak yang diperlukan untuk TPACK. Kurangnya sumber daya dapat menjadi hambatan signifikan terutama di lingkungan pendidikan dengan anggaran terbatas. Tidak semua lembaga pendidikan mungkin memiliki cukup banyak perangkat keras, seperti komputer atau tablet, untuk mendukung penggunaan teknologi dalam pembelajaran kimia. Keterbatasan ini dapat membatasi akses siswa ke pengalaman pembelajaran teknologi yang lebih interaktif dan praktis. Koneksi internet yang stabil diperlukan untuk mengakses sumber daya pembelajaran *online*, simulasi, dan *platform* pembelajaran daring. Di lingkungan dengan akses internet yang terbatas atau tidak stabil, siswa dan guru dapat menghadapi kendala signifikan dalam mengintegrasikan teknologi.

Pengadaan perangkat lunak, lisensi, atau aplikasi pembelajaran berbasis teknologi dapat memerlukan biaya tambahan yang mungkin tidak dapat ditanggung oleh lembaga pendidikan dengan anggaran terbatas. Biaya ini dapat menjadi hambatan nyata dalam mengadopsi solusi teknologi yang lebih canggih. Penggunaan teknologi dalam pembelajaran kimia sering membutuhkan perangkat khusus seperti sensor atau peralatan analisis. Lembaga pendidikan dengan anggaran terbatas mungkin kesulitan untuk memperoleh dan memelihara perangkat tersebut. Perangkat keras dan perangkat lunak memerlukan pemeliharaan dan pembaruan teratur untuk menjaga keandalan dan fungsionalitasnya.

Lembaga pendidikan yang tidak memiliki sumber daya untuk pemeliharaan dapat mengalami kesulitan saat perangkat lunak atau perangkat keras mengalami masalah. Beberapa lembaga pendidikan mungkin belum memiliki infrastruktur teknologi yang memadai untuk mendukung penggunaan

teknologi dalam skala besar. Kurangnya infrastruktur dapat menyulitkan implementasi TPACK dan menghambat pengalaman pembelajaran yang efektif. Pelatihan guru untuk mengembangkan keterampilan TPACK memerlukan sumber daya tambahan, seperti bahan pelatihan, pelatih, dan waktu. Lembaga pendidikan dengan sumber daya terbatas mungkin kesulitan menyediakan dukungan ini. Mengatasi tantangan ketersediaan sumber daya yang terbatas memerlukan pendekatan kreatif dan solusi yang inovatif. Ini dapat melibatkan upaya kolaboratif dengan mitra eksternal, pendekatan berbasis masyarakat, dan pemanfaatan sumber daya yang sudah ada secara optimal. Selain itu, pemerintah dan lembaga pendidikan dapat bekerja sama untuk mengidentifikasi, mengalokasikan sumber daya yang dimiliki secara efisien agar dapat mendukung implementasi TPACK dengan lebih merata.

Kesulitan dalam Integrasi TPACK secara Holistik

Melakukan Integrasi TPACK secara menyeluruh memerlukan pemahaman yang mendalam tentang konten kimia, metode pembelajaran, dan teknologi. Kesulitan dalam mengintegrasikan ketiga aspek tersebut secara holistik bisa menjadi tantangan. Beberapa guru mungkin lebih fokus pada satu aspek daripada yang lain, menghasilkan integrasi TPACK yang kurang seimbang. Beberapa guru mungkin memiliki pemahaman mendalam tentang konten kimia dan metode pembelajaran, tetapi mungkin tidak sepenuhnya menguasai penggunaan teknologi yang relevan. Kesulitan ini dapat menjadi penghambat kemampuan seorang guru dalam mengintegrasikan teknologi secara efektif dalam konteks pembelajaran kimia.

Teknologi terus berkembang, dan beberapa guru mungkin tidak selalu mengenal atau memahami seluruh potensi teknologi yang dapat mendukung pembelajaran kimia. Keterbatasan pemahaman tentang berbagai alat dan aplikasi teknologi dapat menyulitkan guru untuk memilih dan mengintegrasikan dengan baik. Beberapa guru mungkin terbiasa dengan metode pengajaran

tradisional dan fokus pada penyebaran informasi konten kimia tanpa sepenuhnya memanfaatkan potensi teknologi. Kurangnya keterlibatan dalam eksplorasi dan penggunaan teknologi dapat menghasilkan pengajaran yang kurang interaktif dan dinamis. Guru mungkin menghadapi kesulitan dalam mengintegrasikan teknologi dalam proses evaluasi pembelajaran. Menyesuaikan metode evaluasi tradisional dengan teknologi dapat memerlukan pemikiran kreatif dan penyesuaian. Pengembangan kurikulum yang mencakup integrasi TPACK membutuhkan waktu dan upaya ekstra dari guru. Kurangnya waktu dapat menjadi hambatan utama dalam mengintegrasikan teknologi secara holistik ke dalam rencana pembelajaran dan kurikulum kimia. Perubahan paradigma dari pendekatan pengajaran tradisional ke integrasi teknologi memerlukan keterbukaan, adaptabilitas, dan kemauan untuk mengubah praktek pengajaran. Guru yang kesulitan menyesuaikan diri dengan perubahan tersebut mungkin menghadapi hambatan dalam mengintegrasikan TPACK secara holistik.

Kesulitan dalam mengintegrasikan TPACK secara holistik dapat dipengaruhi oleh kurangnya dukungan dan pelatihan yang diberikan kepada guru. Dukungan berkelanjutan, pelatihan intensif, dan pengembangan profesional dapat membantu guru melewati kendala ini. Untuk mengatasi kesulitan ini, dukungan dan pelatihan yang berkelanjutan untuk guru sangat penting. Pengembangan profesional yang terfokus pada integrasi teknologi, kolaborasi antar guru, dan pengembangan kurikulum yang mencakup elemen TPACK dapat membantu mengatasi tantangan ini dan meningkatkan efektivitas pengajaran kimia.

KESIMPULAN

Artikel ini memuat *review* hasil riset dari beberapa jurnal bereputasi. Artikel ini diharap mampu menjadi salah satu referensi bagaimana peluang dan tantangan penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada

materi kimia bagi generasi Z di era *society* 5.0. Hasil studi literatur menunjukkan bahwa penggunaan perangkat pembelajaran berbasis TPACK dalam pelajaran memberikan beberapa peluang yaitu peningkatan keterlibatan siswa, peningkatan pemahaman konsep meningkatkan keterampilan berpikir kritis, meningkatkan daya ingat dan pemahaman jangka panjang, serta peningkatan keterampilan teknologi, sedangkan tantangannya meliputi infrastruktur dan aksesibilitas, pelatihan guru yang tidak cukup, ketersediaan sumber daya yang terbatas, serta kesulitan dalam integrasi TPACK secara holistik. Gambaran yang komprehensif tentang bagaimana perangkat pembelajaran berbasis TPACK dapat secara positif memberikan peluang pada pembelajaran kimia diharapkan dapat menjadi pedoman bagi praktisi pendidikan dalam menerapkan teknologi tersebut dalam proses belajar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abouelenein, Y. A. M., & Selim, S. A. S. (2024). Impact of digital interventions on the development of TPACK: Interviews, reports, and video simulation among pre-service teachers. *Education and Information Technologies*, 1-40.
- Akbar, J. S., Dasna, I. W., & Wonorahardjo, S. (2019). The effect of guided inquiry-based practicum learning and prior knowledge on learning outcomes and science process skills of high school students on solubility and solubility products. *Jurnal Pendidikan Sains*, 7(3), 80-84.
- Akbar, J. S., & Djakariah, D. (2023). Pemanfaatan media pembelajaran berbasis android menggunakan pendekatan inkuiri untuk menguatkan technological pedagogical and content knowledge (TPACK) calon guru. *Oxygenius Journal Of Chemistry Education*, 5(1), 46-53.
- Ariani, M., Zulhawati, Z., Haryani, H., Zani, B. N., Husnita, L., Firmansyah, M. B., ... & Hamsiah, A. (2023). *Penerapan media pembelajaran era digital*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Baran, E., Chuang, H., & Thompson, A. (2011). Tpack: an emerging research and development tool for teacher educators. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 10, 370-377.
- Birisci, S., & Kul, U. (2019). Predictors of technology integration self-efficacy beliefs of preservice teachers. *Contemporary Educational Technology*, 10(1), 75-93.
- Boletsis, C., & McCallum, S. (2013). The table mystery: An augmented reality collaborative game for chemistry education. In *Serious Games Development and Applications: 4th International Conference, SGDA 2013, Trondheim, Norway, September 25-27, 2013. Proceedings 4* (pp. 86-95). Springer Berlin Heidelberg.
- Hayati, M. (2022). Peningkatan hasil belajar dengan pendekatan tpack pada pembelajaran ipa. *SCIENCE: Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika Dan IPA*, 2(4), 477-483.
- Hayati, D. K., Sutrisno, S., & Lukman, A. (2014). Pengembangan kerangka kerja TPACK pada materi koloid untuk meningkatkan aktivitas pembelajaran dalam mencapai HOTS siswa. *Edu-Sains: Jurnal Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 3(1).
- Imaduddin, M., & Astuti, A. P. (2022). Strengthening chemistry teachers' technological pedagogical content knowledge through the introduction of augmented reality and learning management systems. *Bulletin of Community Engagement*, 2(1), 21-31.
- Irmita, L. U., & Atun, S. (2017). Pengembangan perangkat pembelajaran menggunakan pendekatan tpack untuk meningkatkan literasi sains. *Jurnal Tadris Kimiya*, 2(1), 84-90.
- Jang, S., & Tsai, M. (2013). Exploring the TPACK of Taiwanese Secondary School Science Teachers Using a New Contextualized TPACK Model.. *Australasian Journal of Educational Technology*, 29, 566-580.
- Joharmawan, R. (2021). Perception profile of content knowledge and technological pedagogy of chemistry teachers and the quality of their implementation in the

- development of rpp and chemistry learning. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(9), 1061-1069.
- Johnson, A. M., Jacovina, M. E., Russell, D. G., & Soto, C. M. (2016). Challenges and solutions when using technologies in the classroom. *Adaptive Educational Technologies for Literacy Instruction*, 13–29.
- Khine, M., Ali, N., & Afari, E. (2017). Exploring relationships among TPACK constructs and ICT achievement among trainee teachers. *Education and Information Technologies*, 22, 1605-1621.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9, 60-70.
- Kurnianto, B., & Sarwono, R. (2023). Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis tpack dalam meningkatkan aktivitas belajar dan kemampuan pemecahan masalah siswa. *Scholaria: Jurnal Pendidikan Dan Kebudayaan*, 13(3), 210-221.
- Kurniawan, H., Hakim, L., Sanulita, H., Maiza, M., Arisanti, I., Rismawan, M., ... & Amalia, M. M. (2023). *Teknik Penulisan Karya Ilmiah: Cara membuat Karya Ilmiah yang baik dan benar*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Lei, J. (2009). Digital natives as preservice teachers: What technology preparation is needed? *Journal of Computing in Teacher Education*, 25(3), 87–97.
- Lukas, S., Müller, W., Huwer, J., Drüke-Noe, C., Koppel, I., Rebholz, S., ... & Weitzel, H. (2019). Improving students'tpack through learning labs: the implementation of ichemlab and steam makerspace. *In Edulearn19 Proceedings* (pp. 6718-6726).
- Mairisiska, T., Sutrisno, S., & Asrial, A. (2014). Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis TPACK pada materi sifat koligatif larutan untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. *Edu-Sains: Jurnal Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 3(1).
- Maor, D. (2017). Using TPACK to develop digital pedagogues: a higher education experience. *Journal of Computers in Education*, 4, 71-86.
- Mas'un, M., & Saparudin, S. (2022). Konsep dan penerapan tpack dalam pembelajaran pendidikan agama islam berbasis hots. *eL-HIKMAH: Jurnal Kajian dan Penelitian Pendidikan Islam*, 16(2).
- Niess, M. (2011). Investigating TPACK: knowledge growth in teaching with technology. *Journal of Educational Computing Research*, 44, 299-317.
- Ottenbreit-Leftwich, A., Liao, J. Y. C., Sadik, O., & Ertmer, P. (2018). Evolution of teachers' technology integration knowledge, beliefs, and practices: How can we support beginning teachers use of technology?. *Journal of Research on Technology in Education*, 50(4), 282-304.
- Picton, I., (2019). *Teachers' use of technology to support literacy in 2018*. London: National Literacy Trust.
- Pongpalilu, F., Hamsiah, A., Raharjo, R., Sabur, F., Nurlela, L., Hakim, L., ... & Tresnawati, S. (2023). *Perkembangan peserta didik: teori & konsep perkembangan peserta didik era society 5.0*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Porrás-Hernández, L., & Salinas-Amescua, B. (2013). Strengthening tpack: a broader notion of context and the use of teacher's narratives to reveal knowledge construction. *Journal of Educational Computing Research*, 48, 223 - 244.
- Ramli, A., Putri, R., Trimadona, E., Abadi, A., Ramadani, Y., Saputra, A. M. A., ... & Mahmudah, K. (2023). *Landasan Pendidikan: Teori dan konsep dasar landasan pendidikan era industri 4.0 dan society 5.0 di indonesia*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Rodríguez-Becerra, J., Cáceres-Jensen, L., Díaz, T., Druker, S., Bahamonde Padilla, V., Perna, J., & Aksela, M. (2020). Developing technological pedagogical science knowledge through educational computational chemistry: A case study of pre-service chemistry teachers' perceptions. *Chemistry*

- Education Research and Practice*, 21(2), 638–654.
- Rosenberg, J. M., & Koehler, M. J. (2015). Context and technological pedagogical content knowledge (tpack): a systematic review. *Journal of Research on Technology in Education*, 47(3), 186-210.
- Schubatzky, T., Burde, J. P., Große-Heilmann, R., Haagen-Schützenhöfer, C., Riese, J., & Weiler, D. (2023). Predicting the development of digital media pck/tpack: the role of pck, motivation to use digital media, interest in and previous experience with digital media. *Computers & Education*, 206, 104900.
- Valtonen, T., Sointu, E., Kukkonen, J., Kontkanen, S., Lambert, M. C., & Mäkitalo-Siegl, K. (2017). TPACK updated to measure pre-service teachers' twenty-first century skills. *Australasian Journal of Educational Technology*, 33(3), 15–31.
- Wong, C. H., Tsang, K. C., & Chiu, W. K. (2021). Using augmented reality as a powerful and innovative technology to increase enthusiasm and enhance student learning in higher education chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, 98(11), 3476-3485.
- Yuniandriyani, E., Muhaimin, M., & Ernawati, M. D. W. (2022). Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis tpack untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah pada materi hidrolisis garam di sma. *Journal on Teacher Education*, 4(2), 281-292.