

Integrasi Aplikasi berasaskan Kecerdasan Buatan dalam Pembelajaran Digital dan Kaedah Pengajaran dan Pembelajaran Fizik Kuantum: Tinjauan Literatur

The Integration of Artificial Intelligence-Based Applications in Digital Learning and Teaching Methods of Quantum Physics: A Literature Review

Noorul Aliya¹, Abu Bakar Suriani^{1*}, Kung Teck Wong², Abu Bakar Azzam¹,
Mohamad Adli¹

¹Jabatan Fizik, Fakulti Sains dan Matematik, Universiti Pendidikan Sultan Idris,
35900 Tanjung Malim, Perak, Malaysia

²Fakulti Pembangunan Manusia, Universiti Pendidikan Sultan Idris,
35900 Tanjung Malim, Perak, Malaysia

*Corresponding author: suriani@fsmt.upsi.edu.my

Received: 01 Oktober 2024; **Accepted:** 05 November 2024; **Published:** 12 November 2024

To cite this article (APA): Noorul, A., Suriani, A. B., Wong, K. T., Azzam, A. B., & Mohamad, A. (2024). The Integration of Artificial Intelligence-Based Applications in Digital Learning and Teaching Methods of Quantum Physics: A Literature Review. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia*, 14(2), 155–170. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.2.12.2024>

To link to this article: <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.2.12.2024>

ABSTRAK

Penggunaan aplikasi berasaskan Kecerdasan Buatan (KB) semakin meluas dalam konteks pembelajaran digital selepas pandemik COVID-19 melanda, di mana teknologi ini membantu dalam proses pengajaran dan pembelajaran (PdP) yang dapat dilakukan secara maya. Meskipun pelbagai aplikasi digital telah diperkenalkan dalam kaedah PdP, pemahaman terhadap trend penggunaan aplikasi berasaskan KB dan keberkesannya dalam penguasaan topik Fizik Kuantum masih kurang diterokai. Topik Fizik Kuantum mempunyai konsep yang abstrak dan berlaku banyak miskonsepsi dari sudut pemahaman murid, menyebabkan kesukaran dalam penguasaan topik ini. Oleh itu, kajian ini dilakukan bagi mengenal pasti bagaimana integrasi aplikasi berasaskan KB dalam pembelajaran digital dan kaedah PdP dapat memperkasakan kaedah PdP Fizik Kuantum. Tinjauan literatur telah dilakukan terhadap sumber terbitan dari tahun 2018 hingga 2024 yang merangkumi 26 artikel jurnal dan buku yang relevan. Hasil kajian mendapati bahawa trend penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam kaedah PdP Fizik Kuantum semakin meningkat secara global bersama bukti keberkesannya dalam peningkatan minat, penglibatan dan pemahaman murid terhadap konsep-konsep abstrak melalui pendekatan yang lebih dinamik dan interaktif. Kaedah PdP yang melibatkan interaksi dengan kandungan pembelajaran seperti platform *PopAi* dapat meningkatkan minat dan penglibatan murid melalui pendekatan yang memudahkan pengajaran konsep-konsep Fizik Kuantum yang sangat kompleks. Demikian itu, kesediaan dalam pembelajaran digital juga perlu dipertingkatkan seperti infrastruktur digital dan kemahiran pengendaliannya supaya potensi teknologi KB ini dapat dimanfaatkan sepenuhnya seiring dengan keberhasilan revolusi pendidikan 4.0. Disamping itu ianya dapat mempersiapkan generasi masa hadapan yang mahir dari segi teknologi digital untuk menghadapi cabaran dan peluang dalam era kemajuan teknologi. Kesimpulannya, penggunaan teknologi KB dalam kaedah PdP Fizik Kuantum masa kini semakin meningkat seiring dengan bukti keberkesannya terhadap peningkatan pencapaian dan minat murid dalam PdP Fizik Kuantum.

Kata kunci: Fizik Kuantum, Kecerdasan Buatan, Pembelajaran Digital, Teknologi Digital, Pendidikan 4.0

ABSTRACT

The use of Artificial Intelligence (AI)-based applications has become increasingly widespread in the context of digital learning following the COVID-19 pandemic, where this technology has facilitated the teaching and learning (T&L) process virtually. Although various digital applications have been introduced in T&L methods, understanding the trends in AI-based application usage and its effectiveness in mastering Quantum Physics topics remains underexplored. Quantum Physics topics involve abstract concepts and often result in many misconceptions in students' understanding, leading to difficulties in mastering these topics. Therefore, this study was conducted to identify how the integration of AI-based applications in digital learning and T&L methods can empower T&L approaches in Quantum Physics. A systematic literature review was conducted on sources published from 2018 to 2024, covering 26 relevant journal articles and books. The findings indicate that the trend of using AI-based applications in Quantum Physics T&L methods is increasing globally, along with evidence of its effectiveness in enhancing students' interest, engagement, and understanding of abstract concepts through more dynamic and interactive approaches. T&L methods that involve interaction with learning content, such as the PopAi platform, can increase students' interest and engagement by simplifying the teaching of highly complex quantum physics concepts. Therefore, digital learning readiness also needs to be enhanced, including digital infrastructure and operational skills, so that the full potential of this AI technology can be harnessed in line with the success of the education revolution 4.0. Additionally, it can prepare future generations to be skilled in digital technology, ready to face challenges and opportunities in the era of technological advancement. In conclusion, the use of AI technology in Quantum Physics T&L methods is increasing, along with evidence of its effectiveness in improving students' achievement and interest in Quantum Physics T&L.

Keywords: *Artificial Intelligence, Digital Learning, Digital Technology, Education 4.0, Quantum Physics*

PENGENALAN

Pandemik COVID-19 telah membawa perubahan yang besar kepada kaedah PdP di seluruh dunia. Penggunaan teknologi digital dan pembelajaran dalam talian telah menjadi keutamaan dalam usaha untuk mengekalkan kesinambungan pendidikan apabila institusi pendidikan dan sekolah di tutup bagi mengelakkan penularan virus. Pada fasa pandemik tersebut tidak hanya mempercepatkan adaptasi terhadap pembelajaran maya, tetapi juga membuka ruang kepada inovasi dalam kaedah PdP seperti penggunaan aplikasi berasaskan KB. Teknologi ini telah membantu sistem pendidikan untuk dijalankan secara interaktif dan disesuaikan dengan keperluan pengguna iaitu guru dan pelajar, memberikan potensi baru dalam menyokong penguasaan topik-topik yang kompleks dan abstrak seperti Fizik Kuantum.

Seiring dengan perkembangan ini, pembelajaran digital dan kemajuan teknologi dalam era Revolusi Industri 4.0 (IR4.0) memainkan peranan penting dalam Pendidikan 4.0 yang difokuskan kepada revolusi kaedah PdP. Pendidikan 4.0 menekankan kepada kemahiran digital, kemahiran berfikir kritis, penyelesaian masalah, kerja berpasukan dan pembelajaran sepanjang hayat yang membolehkan murid menyesuaikan diri dengan perubahan teknologi yang pesat (UNESCO, 2019). Kemajuan teknologi yang diperkenalkan melalui IR4.0 mempengaruhi peningkatan dalam Pendidikan 4.0 dan pembelajaran digital. Pendidikan 4.0 adalah pendidikan yang dipengaruhi oleh IR4.0 yang bercirikan pendidikan yang lebih memanfaatkan teknologi digital dalam proses PdP (Dito & Pujiastuti, 2021; Surani, 2019). Persediaan awal dalam aspek teknologi bagi bidang pendidikan 4.0 memberi impak besar kepada guru untuk menghasilkan kemenjadian murid yang mempunyai kemahiran tinggi, pemikiran kritis dan kreatif, inovatif serta kesejahteraan emosi di mana mereka mampu untuk bersaing dalam era IR4.0 (Ajmain @ Jima'ain *et al.*, 2019; Dito & Pujiastuti, 2021). Antara ciri-ciri IR4.0 yang memberi impak kepada sektor pendidikan ialah penggunaan teknologi seperti KB, internet benda (*internet of things*) dan pendigitalan (Afrianto, 2018; Shahroom & Hussin, 2018). Oleh itu, generasi yang unggul dan berdaya saing dalam menghadapi era IR4.0 perlu dilaksanakan dalam aspek yang mempunyai kompetensi tertentu (Dito & Pujiastuti, 2021) seperti pendekatan inovatif dalam sektor pendidikan (Nusantara, 2018). Dalam konteks pendidikan, IR4.0 membuka peluang untuk pembelajaran yang lebih disesuaikan di mana murid dapat menerima pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi melalui penggunaan aplikasi berasaskan KB. Revolusi kaedah PdP yang memanfaatkan KB, membina

keyakinan murid untuk menangani cabaran saintifik yang lebih sukar (Arshad et al., 2024). Penggunaan teknologi seperti aplikasi berasaskan KB dapat mengubah cara kita berinteraksi dengan maklumat dan bagaimana pendidikan disampaikan dalam menjadikan pembelajaran lebih efisien, personal dan boleh diakses di mana-mana sahaja. Ini tidak hanya mempertingkatkan keberkesanan PdP, tetapi juga mempersiapkan murid untuk menghadapi cabaran dan peluang dalam dunia yang semakin digital.

Perkembangan IR4.0 sangat berkait rapat dengan pendidikan STEM, yang memberikan kesan signifikan terhadap peluang pendidikan, dasar pendidikan, serta kaedah PdP (Shaher Elayyan, 2021). Shaher Elayyan (2021) menekankan dua aspek utama dalam pengintegrasian IR4.0 ke dalam pendidikan STEM, iaitu penggabungan keempat-empat disiplin STEM serta penyelarasan elemen dalam sistem pendidikan seperti dasar pendidikan, guru, kurikulum, persekitaran pembelajaran, dan murid dengan keperluan IR4.0 (Dito & Pujiastuti, 2021). Pendidikan STEM dilihat sebagai salah satu perkembangan terkini yang penting dalam bidang pendidikan, terutama dalam menyokong dasar negara berkaitan sains, teknologi, dan inovasi, seperti Dasar Sains, Teknologi dan Inovasi 2021-2030, Dasar Revolusi Perindustrian Keempat Negara, Dasar Tenaga Negara 2022-2040, serta Dasar dan Strategi Nanoteknologi Negara 2021-2030 (Muda et al., 2023; Siong, 2018). Menurut Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM, 2015), pendidikan STEM bertujuan untuk menggabungkan semua bidang pengetahuan STEM dalam PdP bermula dari peringkat sekolah, dengan objektif pembelajaran yang dikoordinasikan melalui penyelesaian masalah yang realistik, terbuka, dan interdisiplin (Hatisaru et al., 2023). Pendidikan STEM yang berkesan juga berfungsi sebagai pengantara untuk membekalkan murid dengan kompetensi abad ke-21 yang mendorong mereka untuk berfikir secara kreatif, sistematik, dan logik (Kong & Mohd Matore, 2020; Mpofu, 2020), di mana reformasi pendidikan tertumpu kepada usaha menyediakan generasi muda dengan kemahiran penyelesaian masalah untuk menghadapi cabaran harian (Howard et al., 2019; Jerki & Han, 2020; Muda et al., 2023). Pendidikan STEM ini adalah selaras dengan aspirasi Malaysia untuk melahirkan 3.3 juta pekerja, di mana 50 peratus daripada mereka adalah tenaga kerja berkemahiran tinggi (Utusan Malaysia, 2018). Muda et al. (2023) menyatakan bahawa pendidikan STEM di Malaysia bermula sejak 2013 dengan pengenalan Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (PPPM) 2013-2025.

Pelaksanaan PPPM 2013-2025 menerapkan penggunaan teknologi dalam pendidikan dan dipraktikkan di dalam bilik darjah dengan mengambil kira pencapaian lampau dan membandingkannya dengan tanda aras antarabangsa (Ringkasan Eksekutif PPPM 2013-2025) yang bertujuan untuk menjana modal insan yang memiliki pengetahuan, kemahiran, nilai, dan memupuk budaya STEM di tempat kerja (PPPM 2013 -2025). Anjakan 7 dalam gelombang 3 PPPM 2013-2025 yang bermula dari tahun 2021 memberikan penekanan yang lebih kepada integrasi teknologi dalam PdP bagi meningkatkan kualiti pembelajaran di Malaysia dan memastikan kejayaan hasrat transformasi pendidikan negara, seperti yang diterapkan dalam Transformation School Program 2025 (TS25), yang menyokong lima tunjang utama untuk menghasilkan modal insan yang unggul, termasuk mempromosikan penglibatan aktif murid dan menghasilkan guru yang berdaya saing dan bermotivasi tinggi (Sulaiman & Ismail, 2020). Penyepaduan teknologi KB dalam PPPM 2013-2025 telah memainkan peranan penting dalam mentransformasikan landskap pendidikan di Malaysia seperti meningkatkan prestasi murid tetapi juga memberi peluang kepada murid untuk melibatkan diri dalam program STEM, menyertai projek inovasi dan cemerlang dalam pelbagai pertandingan. Secara ringkasnya, penggabungan KB dalam PPPM 2013-2025 telah menjadi penggerak di sebalik kejayaan dan hasil positif yang diperhatikan dalam prestasi pelajar, pembangunan guru, dan kemajuan keseluruhan pendidikan di Malaysia.

Menurut Ilyana Jalaluddin (2022), kaedah pedagogi yang fleksibel dan kreatif adalah kunci kepada keberkesanan pengajaran di dalam bilik darjah, terutamanya apabila disokong oleh penggunaan teknologi moden dan maya. Beliau menekankan bahawa murid di United Kingdom, sebagai contoh, mendapat manfaat besar melalui pendekatan pembelajaran yang holistik, yang merangkumi bukan sahaja pengetahuan akademik tetapi juga kemahiran berfikir, kepimpinan, dan pelaksanaan PdP yang lebih inovatif. Pendekatan ini, menurutnya, selari dengan tunjang utama transformasi pendidikan di Malaysia, yang menekankan kolaborasi, kemahiran berfikir aras tinggi (KBAT), pembelajaran sendiri, fleksibiliti pedagogi, dan kreativiti—semuanya adalah keperluan penting dalam menghadapi cabaran Revolusi Industri 4.0 (Elayyan, 2021; Dito & Pujiastuti, 2021).

Selain itu, Ilyana Jalaluddin (2022) juga membincangkan peranan aplikasi Realiti Terimbuh (*Augmented Reality*) dan Realiti Maya (*Virtual Reality*) dalam membentuk pengalaman pembelajaran maya yang lebih mendalam, dengan bantuan perisian seperti Papan Pintar (*Smart Board*) yang memudahkan pembelajaran kolaboratif dan memperluas interaksi antara murid di seluruh dunia. Penggunaan teknologi seperti AI dan *Augmented Reality* dalam pembelajaran membantu murid berfikir secara kreatif dan inovatif yang mendorong murid untuk meneroka penyelesaian baru dalam sains dan mengasah daya cipta mereka (Arshad et al., 2024). *Augmented reality* telah muncul sebagai teknologi terkini yang meningkatkan pengalaman pembelajaran dengan menggabungkan elemen digital dengan dunia fizikal (Mayilyan, H. 2019).

Pendekatan ini berseiring dengan inisiatif Pembelajaran Abad Ke-21 (PAK21), yang diadaptasi dari sistem pendidikan Finland—antara sistem pendidikan terbaik di dunia yang mengetengahkan elemen komunikasi, kolaborasi, pemikiran kritis, kreativiti, serta aplikasi etika dan nilai murni dalam pendidikan. Untuk merealisasikan penggunaan teknologi ini di Malaysia, beberapa aspek penting perlu dipertimbangkan, termasuk kelengkapan dan prasarana yang selari dengan PPPM 2013-2025 (Muda et al., 2023). Seperti yang disarankan oleh kajian Negrilä (2023), penyesuaian diri dengan landskap maya yang baru seperti teknologi KB adalah perlu bagi memanfaatkan sepenuhnya potensi teknologi tersebut dalam mencipta pembelajaran sepanjang hayat seiring dengan konsep PAK21, pendidikan STEM, dan Pendidikan 4.0. Corak pengajaran masa kini lebih kepada PAK21 di mana guru menggunakan pelbagai teknik pengajaran di dalam PdP yang berpusatkan murid berbantuan bahan bantu mengajar (BBM) dan alat bantu mengajar (ABM) yang menarik seperti penggunaan teknologi KB. PAK21 memfokuskan kepada empat prinsip utama terdiri daripada pemikiran kritis dalam menyelesaikan masalah, komunikasi, kolaborasi dan kreativiti (Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM), 2012). Penekanan kepada penyelesaian masalah, kerjasama, pemikiran kritis dan kreatif murid ini bagi memupuk kognitif murid ke tahap pendidikan yang lebih tinggi (Ajmain @ Jima'ain et al., 2019) supaya mampu menjadi murid yang bersedia untuk masa depan, dilengkapi dengan kemahiran dan kebolehan yang diperlukan untuk menghadapi dunia yang berubah dengan pantas. Ini melibatkan kemampuan menyesuaikan diri, kreatif dan berdaya tahan dengan asas yang kukuh dalam kedua-dua kemahiran teknikal dan interpersonal (Guerrero-Quiñonez et al., 2023). Murid kalis masa depan atau *future-proof*, mampu menyesuaikan diri dengan cepat, dan bersedia dengan baik terhadap cabaran dan peluang yang mungkin dihadapi pada masa hadapan.

Selain itu, PdP yang berteraskan PAK21 berkait rapat dengan pendidikan 4.0 kerana murid dapat meningkatkan kemahiran kerjasama-komunikasi, kemahiran teknologi, kemahiran belajar dan ciri peribadi melalui akses terbuka, pendidikan individu, transformasi mental, integrasi teknologi digital kepada pendidikan, persekitaran pembelajaran yang lancar, pembelajaran sepanjang hayat, pendidikan penerokaan dan pendidikan pelbagai disiplin yang komponen utama yang mentakrifkan Pendidikan 4.0 (Ajmain @ Jima'ain et al., 2019; Himmetoglu et al., 2020). Perkembangan profesion masa hadapan yang lebih berpusatkan teknologi dalam tugas harian, pendekatan pengajaran secara tradisional kurang sesuai dalam memenuhi permintaan untuk menjadikan murid kalis masa depan (Nusantara, 2018). Revolusi dalam teknologi mewujudkan perubahan dalam konteks pembelajaran berterusan yang mencabar konsep dan teori pendidikan tradisional, terutamanya dalam konsep bilik darjah dan kaedah PdP di mana murid diberi kebebasan dalam menyesuaikan diri dalam proses pembelajaran bagi meningkatkan pengetahuan mereka (Ajmain @ Jima'ain et al., 2019). Dalam konteks ini, revolusi pendidikan beralih daripada pengajaran berasaskan bilik darjah tradisional kepada pendekatan yang lebih fleksibel dan terbuka. Menurut kajian Guerrero-Quiñonez et al. (2023), platform dalam talian dan sumber digital menawarkan akses kepada pelbagai sumber maklumat dan membolehkan murid belajar secara fleksibel. Selain itu, hubungan sosial dan komuniti maya menggalakkan kerjasama antara murid dan guru, menggalakkan pertukaran idea dan pengetahuan secara global (Coll-Serrano et al., 2018).

Dalam keseluruhan konteks ini, transformasi pendidikan yang dipacu oleh teknologi moden seperti KB dan pendekatan pedagogi inovatif seperti yang diterapkan dalam PAK21 dan Pendidikan 4.0 adalah kunci dalam menyediakan murid untuk menghadapi cabaran dunia yang semakin digital. Pendidikan STEM yang diintegrasikan dengan IR4.0 dan disokong oleh inisiatif seperti PPPM 2013-2025, telah menunjukkan betapa pentingnya penggunaan teknologi untuk membina kompetensi abad ke-21,

meningkatkan kualiti pengajaran, dan mempersiapkan murid untuk masa depan yang lebih kompleks. Namun, kejayaan pelaksanaan teknologi dalam pendidikan ini tidak hanya bergantung pada penyediaan infrastruktur dan sumber daya yang mencukupi tetapi juga pada adaptasi pedagogi yang fleksibel dan kreatif, seperti yang dicontohi oleh sistem pendidikan terbaik di dunia. Integrasi teknologi digital dan pendekatan pedagogi yang inovatif seperti ini memerlukan guru dan murid untuk beradaptasi dengan landskap pembelajaran yang dinamik, di mana pembelajaran menjadi lebih personal, kolaboratif, dan dapat diakses secara meluas. Oleh itu, kajian ini bertepatan untuk meneroka bagaimana integrasi teknologi KB dalam pembelajaran digital dan kaedah PdP dapat memperkasakan pendidikan Fizik Kuantum, yang merupakan salah satu cabang ilmu yang sering dianggap mencabar dan abstrak oleh pelajar. Kajian ini juga akan menilai keberkesanan penggunaan teknologi ini dalam meningkatkan penguasaan murid terhadap konsep-konsep Fizik Kuantum serta kesediaan murid untuk menghadapi cabaran dunia pendidikan yang semakin digital.

PERSOALAN KAJIAN

Kajian ini bertujuan untuk meninjau trend penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum serta menilai keberkesanannya. Persoalan kajian utama adalah:

1. Apakah trend penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum di sekolah?
2. Bagaimanakah keberkesanan aplikasi berasaskan KB dalam meningkatkan penguasaan murid terhadap konsep-konsep abstrak Fizik Kuantum?
3. Apakah cabaran utama yang dihadapi dalam penerapan aplikasi berasaskan KB dalam konteks pendidikan Fizik Kuantum?"

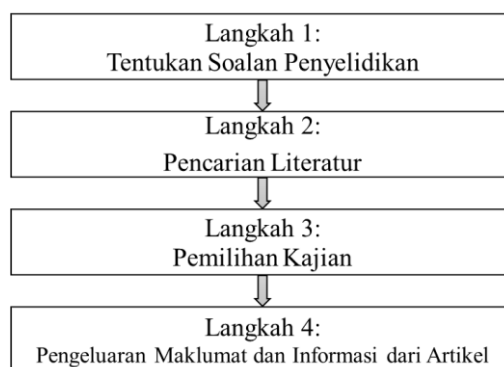
OBJEKTIF KAJIAN

Kajian ini bertujuan untuk memahami penggunaan dan impak teknologi KB dalam pengajaran Fizik Kuantum serta mengenal pasti cabaran yang terlibat. Oleh itu, objektif kajian adalah seperti berikut:

1. Meninjau trend penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum di sekolah.
2. Menilai keberkesanan aplikasi berasaskan KB dalam meningkatkan penguasaan murid terhadap topik-topik abstrak Fizik Kuantum.
3. Mengidentifikasi cabaran yang dihadapi dalam penerapan aplikasi berasaskan KB dalam konteks pendidikan Fizik Kuantum.

METODOLOGI KAJIAN

Penulisan tinjauan literatur secara naratif ini bertujuan untuk meninjau penggunaan teknologi KB dalam pendidikan Fizik Kuantum dan menilai keberkesanannya dalam sesi PdP melalui analisis tinjauan literatur yang diadaptasi dari Basu (2017) dan Jamal et al. (2019) seperti yang tertera di dalam Rajah 1.



Rajah 1 Empat Langkah dalam Analisis Tinjauan

Kajian ini dijalankan dengan mengumpulkan artikel jurnal dari pelbagai pangkalan data akademik seperti Google Scholar, ProQuest, dan JSTOR, yang meliputi tempoh dari tahun 2018 hingga 2023. Pangkalan data ini dipilih kerana ia merangkumi pelbagai jurnal berwasit yang diiktiraf dan membolehkan akses yang mudah kepada artikel terkini serta mengandungi pelbagai bidang pengetahuan yang berkaitan seperti dalam persolan kajian ini. Artikel-artikel yang diperoleh memastikan kajian ini mempunyai perspektif yang luas serta terkini mengenai pengintegrasian aplikasi berasaskan KB dalam pembelajaran digital dan kaedah PdP Fizik Kuantum. Selain itu, kajian ini juga merujuk kepada beberapa jurnal yang berkaitan dengan kajian dari Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia yang berkaitan dengan perkembangan pendidikan dalam bidang sains khususnya di Malaysia melalui pangkalan data eJournal UPSI.

Sebanyak 42 artikel jurnal dan buku yang relevan telah dipilih, jumlah ini dipertimbangkan berdasarkan rujukan Grant dan Booth (2009) yang menyatakan bahawa kaedah tinjauan naratif bertujuan memberikan perspektif menyeluruh dan jumlah artikel ini cukup untuk memberikan gambaran komprehensif terhadap trend, keberkesanan dan cabaran dalam pengintegrasian aplikasi berasaskan KB dalam pembelajaran digital dan kaedah PdP Fizik Kuantum di sekolah.

Untuk menentukan soalan penyelidikan di Langkah 1, kerangka kerja PICO (*Population – Intervention – Comparator – Outcomes*) digunakan, dimana ia terdiri daripada:

- Populasi (*Population*): Murid dan pendidik dalam bidang Fizik,
- Intervensi (*Intervention*): Penggunaan teknologi KB dalam PdP,
- Perbandingan (*Comparator*): Kaedah pengajaran konvensional,
- Hasil (*Outcomes*): Peningkatan penguasaan akademik dan pemahaman konsep pelajar.

Populasi merujuk kepada kumpulan sasaran yang terlibat dalam objektif kajian dimana ia melibatkan gabungan warga pendidik dan murid dalam bidang fizik. Intervensi merujuk secara khusus kepada penggunaan teknologi KB dalam pendidikan Fizik Kuantum dimana ia ditumpukan kepada penggunaan teknologi KB dalam pendidikan seperti platform pembelajaran adaptif, permainan pendidikan yang dikuasakan KB dan juga *chatbot* yang menggunakan teknologi KB generatif dalam menyokong pembelajaran seiring dengan kemajuan teknologi. Seterusnya bahagian perbandingan merujuk kepada perbandingan antara intervensi dan plasebo atau intervensi dan rawatan konvensional atau intervensi dan tanpa rawatan dibandingkan dalam sesuatu kajian (Jamal et al., 2019) sebagai contoh bagi kajian ini carian berkaitan perbandingan kaedah pendidikan konvensional yang berpusatkan guru dengan teknologi KB yang bersesuaian digunakan dalam PdP fizik. Kemudian, untuk bahagian hasil, kajian ditumpukan kepada keberkesanan teknologi KB terhadap sesi PdP dengan melihat kepada aspek peningkatan dalam penglibatan murid dalam aktiviti pembelajaran, pengetahuan dan pemahaman konsep, pemikiran kritis dalam menyelesaikan masalah serta peningkatan dalam keberkesanan kaedah pengajaran guru untuk mendapatkan hasil pembelajaran yang memuaskan untuk pentaksiran akademik pelajar. "Adakah penggunaan teknologi KB dalam pendidikan fizik (Intervensi) meningkatkan

penguasaan akademik (Hasil) dalam kalangan warga pendidik dan murid (Populasi) berbanding kaedah pengajaran konvensional (Perbandingan)?"

Langkah 2 ialah pencarian literatur dengan menggunakan pangkalan data akademik yang bersesuaian dengan topik penyelidikan ini iaitu penyelidikan berbentuk pendidikan dimana platform yang sesuai ialah ERIC, EBSCOhost dan ProQuest. Namun bagi kajian ini, pengkaji menggunakan platform Google Scholar, ProQuest dan JSTOR yang lebih bersesuaian dengan kerangka kerja PICO. Melalui carian literatur perlu dikenalpasti istilah carian iaitu kata kunci dan sinonim bagi setiap elemen PICO untuk mendapatkan senarai carian yang komprehensif. Setelah mendapatkan senarai carian artikel jurnal menggunakan istilah carian yang relevan dengan persoalan kajian di Langkah 1, ia dimuat turun dan dimasukkan ke dalam platform Mendeley untuk pembacaan lanjut.

Langkah 3 merupakan pemilihan kajian melalui tajuk dan abstrak berdasarkan persoalan kajian iaitu penggunaan teknologi KB dalam pendidikan fizik meningkatkan penguasaan akademik dalam kalangan warga pendidik dan murid berbanding kaedah pengajaran konvensional. Langkah ini bertujuan untuk mengenal pasti kajian yang berpotensi untuk dimasukkan atau dikecualikan dari pemilihan kajian yang melibatkan tarikh penerbitan, metodologi atau populasi kajian bagi mewujudkan kriteria yang jelas.

Akhir sekali, langkah 4 ialah pengeluaran maklumat dan informasi dari artikel dengan melakukan semakan lebih mendalam terhadap teks penuh bagi mengesahkan perkaitan dengan kajian. Kemudian pengeluaran maklumat dan informasi dari artikel dibincangkan dan dibandingkan dengan carian merentas kajian yang telah dipilih untuk mengenal pasti corak atau trend kajian ini iaitu trend penggunaan teknologi KB dalam pendidikan fizik untuk pelbagai tahap pendidikan dari peringkat sekolah rendah hingga ke pengajian tinggi serta menilai keberkesannya dalam PdP melalui peningkatan yang positif terhadap guru dan murid dari segi pemahaman konsep secara kritis dan kemampuan untuk pembelajaran sendiri ketika sesi PdP.

HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

a. Trend Penggunaan Aplikasi Berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum

Pada era teknologi moden ini, bahan pendidikan tersedia dalam pelbagai peranti pintar seperti telefon pintar dan tablet (Johnson, 2019). Penggunaan teknologi ini dalam pendidikan Fizik, terutamanya Fizik Kuantum, telah menghapuskan halangan geografi dan sosioekonomi dengan membolehkan murid mengakses sumber pembelajaran pada bila-bila masa dan di mana sahaja. Menurut Nugraha et al. (2023), penggunaan aplikasi berasaskan KB seperti *ChatGPT* dapat meningkatkan pemahaman konsep Fizik Kuantum. Murid dapat memberikan respons yang cepat terhadap persoalan yang diajukan serta terlibat dalam perbincangan kritis semasa sesi PdP berlangsung. Selain itu, platform seperti Makmal Maya atau *Virtual Lab* (VL) direka bentuk untuk menambahbaik pedagogi dalam Fizik Kuantum dengan membentuk kemahiran praktikal dan eksperimen yang lebih mendalam (Asadovna, 2020). Penyelidikan oleh Bogusevski et al. (2020) menyerlahkan potensi VL untuk meningkatkan kemahiran penyelesaian masalah, literasi komputer, dan kebolehan praktikal, yang sangat penting dalam pembelajaran Fizik Kuantum. Penggunaan VL juga meningkatkan minat murid terhadap pembelajaran Fizik dengan menawarkan perspektif eksperimen yang lebih cepat diselesaikan, serta masa yang lebih banyak untuk penerokaan dan perbincangan konsep yang kompleks. Kaplan-Rakowski et al. (2023) melaporkan bahawa guru secara amnya mempunyai perspektif positif terhadap penggunaan aplikasi berasaskan KB, tanpa mengira gaya pengajaran tersendiri mereka. Kajian ini menunjukkan korelasi langsung antara kekerapan penggunaan KB dan sikap positif pelajar, yang dapat memupuk potensi pembelajaran yang lebih bermakna.

Teknologi KB dalam pendidikan Fizik Kuantum masa kini digambarkan sebagai alat yang mempromosikan interaksi murid yang bermakna. Walaupun terdapat kebimbangan bahawa KB mungkin tidak selalu menyediakan jawapan yang selaras dengan standard kandungan, ini boleh ditambahbaik melalui pengemaskinian platform KB dan penyelidikan berterusan (Yeadon & Hardy,

2023). Namun, keberkesanan penggunaan teknologi KB juga sangat bergantung kepada pemantauan yang aktif dan berterusan oleh guru. Guru memainkan peranan penting dalam memastikan bahawa penggunaan KB bukan sahaja membantu murid memahami konsep-konsep Fizik Kuantum yang kompleks, tetapi juga dalam memastikan bahawa murid tidak terlalu bergantung kepada teknologi ini tanpa memahami asas-asas teori. Pemantauan dari guru membolehkan murid mendapat bimbingan yang tepat apabila menghadapi kesulitan, serta memastikan bahawa penggunaan KB disesuaikan dengan keperluan individu pelajar. Seperti yang dinyatakan oleh Ramadhina et al. (2023), tanpa bimbingan guru, penggunaan aplikasi pembelajaran digital boleh menyebabkan pembelajaran menjadi tidak produktif kerana murid mungkin mempunyai terlalu banyak kebebasan dalam menggunakan teknologi ini, berbanding dengan pendekatan yang lebih formal seperti e-book dan video animasi. Penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam pembelajaran Fizik Kuantum, seperti yang ditunjukkan oleh Hamed dan Aljanazrah (2020), juga boleh membawa kepada pemahaman yang lebih mendalam melalui penggunaan video dalam talian dan sumber visual lain, mewujudkan persekitaran pembelajaran yang lebih fleksibel dan menawarkan pelbagai perspektif. Kajian terkini juga menambah bahawa sistem pembelajaran berbalik (*flipped learning*) dalam persekitaran pembelajaran *ubiquitous* telah menunjukkan keberkesanan dalam meningkatkan kemahiran abad ke-21 pelajar, termasuk literasi teknologi maklumat dan media, yang penting dalam memahami Fizik Kuantum. Khlaisang & Teo (2024) mendapati bahawa sistem ini memudahkan pembelajaran sendiri dan kolaboratif yang lebih interaktif, menambah satu lagi dimensi penting dalam trend penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam pendidikan Fizik Kuantum.

Selain itu, KB juga digunakan untuk memperkenalkan konsep-konsep kompleks dalam Fizik Kuantum, seperti prinsip ketidakpastian Heisenberg, melalui eksperimen pemikiran dan simulasi yang membolehkan murid berinteraksi dengan konsep-konsep abstrak ini secara lebih mendalam (Johansson & Milstead, 2008). Ini menunjukkan peningkatan penggunaan KB sebagai alat bantu dalam pengajaran Fizik Kuantum yang semakin kompleks. Teknologi pembelajaran mesin, termasuk penggunaan algoritma pembelajaran mendalam, juga telah menyokong perkembangan ini dengan menyediakan persekitaran pembelajaran yang lebih dinamik dan dipersonalisasi (Xie et al., 2021). Peningkatan ini sejajar dengan integrasi KB dalam pendidikan STEM, yang mana teknologi ini membantu menyesuaikan kandungan pembelajaran kepada keperluan individu, mempercepatkan pemahaman konsep-konsep abstrak dalam Fizik Kuantum (Khlaisang & Teo, 2024).

b. Keberkesanan Penggunaan Aplikasi Berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum

Keberkesanan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum telah dibuktikan dalam beberapa kajian. Sebagai contoh, Yeadon & Hardy (2023) menyerlahkan keperluan untuk pembelajaran sendiri dalam kalangan pelajar, yang membantu mereka menguasai topik Fizik Kuantum dengan lebih baik. Latihan dan sokongan yang diberikan kepada guru juga memainkan peranan penting dalam keberkesanan penggunaan aplikasi KB, di mana guru perlu mahir dalam menggunakan teknologi ini untuk mengoptimalkan pengajaran (Park et al., 2023). Mahliwati et al. (2023) pula menyatakan bahawa penggunaan aplikasi berasaskan KB dapat meningkatkan pemahaman konsep, menyediakan peluang pembelajaran sendiri, menggalakkan interaksi sosial, dan menambah baik kaedah pentaksiran. Sebagai contoh, eksperimen sebenar boleh ditunjukkan kepada pelajar melalui teknologi, yang sangat membantu pembelajaran dan meningkatkan pengetahuan mereka (Kolil et al., 2020; Ng & Chua, 2023; Rosli & Ishak, 2024). Eksperimen saintifik yang relevan dapat merangsang pembelajaran pelajar, terutamanya untuk konsep abstrak dan sukar difahami (Pedaste et al., 2020; Rosli & Ishak, 2024). Makmal maya adalah versi simulasi makmal tradisional yang menekankan pendekatan berpusatkan pelajar (Alkhalidi et al., 2016; Lestari et al., 2023; Rosli & Ishak, 2022). Dua komponen utama makmal maya adalah simulasi dan animasi (Singhai, 2019), yang membolehkan pelajar meneroka dengan bebas dan membantu mengintegrasikan elemen teori dan praktikal (Jain & Kaur, 2022; Manikowati & Iskandar, 2018; Rosli & Ishak, 2024).

Penemuan Martínez (2023) menunjukkan bahawa penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam bilik darjah Fizik Kuantum meningkatkan prestasi pelajar, terutamanya dalam bidang STEM. Penggunaan algoritma KB dapat menganalisis data murid dan menyesuaikan kandungan pembelajaran mengikut keperluan individu, yang akhirnya membawa kepada peningkatan prestasi akademik (Mahligawati,

2023). Selain itu, penyepaduan KB dalam pendidikan Fizik Kuantum membantu murid membangunkan kemahiran berfikir kritis, kebolehan menyelesaikan masalah, dan pemahaman yang lebih mendalam tentang konsep Fizik yang kompleks. Kajian terkini oleh Khlaisang & Teo (2024) juga mendapati bahawa sistem pembelajaran berbalik yang digabungkan dengan KB menunjukkan keberkesanan dalam meningkatkan motivasi dan minat murid terhadap Fizik Kuantum. Integrasi teknologi digital dan KB juga memperkukuhkan kaedah pembelajaran berasaskan inkuiri dimana murid didorong untuk meneroka, menyoal dan mencari jawapan kepada persoalan saintifik secara sendiri bagi membentuk kemahiran penyelesaian masalah yang lebih mendalam. (Arshad et al., 2024). Ini bukan sahaja membantu dalam meningkatkan penguasaan murid terhadap topik-topik yang sukar, tetapi juga menyokong perkembangan kemahiran berfikir kritis dan penyelesaian masalah melalui pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan sendiri.

Tambahan pula, KB telah digunakan untuk menyokong pembelajaran konsep-konsep abstrak dalam Fizik Kuantum, seperti yang ditunjukkan dalam kajian Johansson & Milstead (2008), di mana simulasi yang didorong oleh KB membantu murid memahami konsep yang sukar seperti dualiti gelombang-zarah dan prinsip ketidakpastian. Ini membuktikan bahawa KB berkesan dalam mencipta pengalaman pembelajaran yang lebih dinamik dan interaktif, serta meningkatkan pemahaman murid terhadap konsep Fizik yang kompleks.

c. Cabaran dalam Penerapan Aplikasi Berasaskan KB

Walaupun penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam pendidikan Fizik Kuantum menawarkan banyak faedah, terdapat beberapa cabaran yang perlu diatasi. Salah satu cabaran utama ialah penyesuaian kurikulum untuk mengintegrasikan teknologi KB dengan berkesan. Cabaran yang dikenal pasti oleh Tukar et al. (2022) untuk memastikan keberkesanan integrasi teknologi ialah sokongan infrastruktur yang kukuh, kesediaan untuk melaksanakan dan ketersediaan alat digital. Ramai pendidik menghadapi kesukaran dalam mengintegrasikan KB ke dalam kurikulum sedia ada, terutamanya dalam subjek yang kompleks seperti Fizik Kuantum (Khlaisang & Teo, 2024) kerana ketidaksediaan untuk melaksanakannya.

Selain itu, kesediaan murid untuk menggunakan teknologi KB juga menimbulkan kebimbangan. Walaupun sistem pembelajaran berbalik maya sangat berkesan, terdapat kebimbangan mengenai minat dan persediaan murid dalam menggunakan media yang disediakan, yang boleh mengurangkan keberkesanan sistem ini (Khlaisang & Teo, 2024). Jurang dalam penyediaan infrastruktur dan latihan guru juga menjadi cabaran utama dalam penerapan KB. Latihan guru yang tidak memadai boleh menyukarkan penggunaan KB secara berkesan dalam bilik darjah (Yi & Lee, 2022). Menurut Meng & Sumettikoon (2022), semua guru perlu dilatih dalam penggunaan KB, bukan hanya guru dalam bidang tertentu, untuk memastikan penyepaduan teknologi ini dalam pendidikan Fizik Kuantum berjalan lancar.

Tambahan pula, terdapat isu etika dan privasi data yang timbul daripada penggunaan KB dalam pendidikan. Kebimbangan tentang pengumpulan dan penggunaan data murid serta potensi bias dalam algoritma KB perlu ditangani dengan teliti untuk memastikan penerapan KB dalam pendidikan Fizik Kuantum adalah selamat dan beretika (Xie et al., 2021). Kajian seperti yang dijalankan oleh Martínez et al. (2023) juga menekankan bahawa penyepaduan KB dalam pengajaran memerlukan penguasaan yang mendalam oleh guru untuk memastikan pelaksanaan yang berkesan. Kekurangan pengetahuan dalam kalangan guru mengenai KB menyukarkan mereka untuk memasukkan teknologi ini dalam pengajaran, menyebabkan halangan yang ketara dalam menyelesaikan isu semasa dalam pendidikan saintifik (Chiu et al., 2021).

Akhir sekali, kesukaran dalam mengajar prinsip Fizik Kuantum yang abstrak, seperti prinsip ketidakpastian Heisenberg, tetap menjadi cabaran utama walaupun dengan bantuan KB. Johansson & Milstead (2008) menekankan bahawa walaupun KB dan simulasi dapat membantu, kekangan dalam penerapan konsep ini dalam kurikulum tetap menjadi cabaran besar bagi pendidik.

d. Rumusan Hasil Penemuan Kajian

Hasil kajian menunjukkan bahawa penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum telah membawa kepada peningkatan pemahaman murid terhadap konsep-konsep abstrak, seperti yang ditunjukkan oleh penggunaan *ChatGPT* dan *Virtual Lab*. Kajian juga mendapati bahawa sistem pembelajaran berbalik dalam persekitaran pembelajaran *ubiquitous* meningkatkan kemahiran abad ke-21 pelajar. Namun, cabaran dalam penyesuaian kurikulum dan kesediaan murid serta guru masih menjadi isu utama. Bagi memudahkan pemahaman dan memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penemuan ini, hasil kajian telah disusun dalam bentuk **Jadual 1** yang merangkumkan penemuan utama mengenai trend, keberkesanan, dan cabaran dalam penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum. Setiap aspek penting telah diorganisasikan untuk menunjukkan perbandingan dan analisis yang lebih terperinci.

Jadual 1: Rumusan Hasil Penemuan Kajian yang merangkumi trend, keberkesanan, dan cabaran dalam penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum

| Kategori | Aspek yang Dibincangkan | Rujukan |
|---|--|--|
| Trend Penggunaan Aplikasi Berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum | | |
| Penggunaan Aplikasi Berasaskan KB untuk Pembelajaran Fizik Kuantum | Penggunaan aplikasi seperti <i>ChatGPT</i> dan <i>Virtual Lab</i> membantu dalam pemahaman konsep Fizik Kuantum, meningkatkan kemahiran praktikal dan eksperimen, serta memupuk perbincangan kritis. | Johnson (2019) Nugraha et al. (2023), Asadovna (2020), Bogusevski et al. (2020) |
| Penggunaan Sistem Pembelajaran Berbalik (<i>Flipped learning</i>) | Sistem pembelajaran berbalik dalam persekitaran pembelajaran <i>ubiquitous</i> meningkatkan kemahiran abad ke-21, literasi teknologi maklumat, dan pembelajaran sendiri yang lebih interaktif. | Khlaisang & Teo (2024) |
| Pengajaran Konsep Abstrak melalui Simulasi AI | Simulasi KB membantu murid memahami konsep abstrak seperti prinsip ketidakpastian Heisenberg dalam Fizik Kuantum melalui eksperimen pemikiran dan simulasi maya. | Johansson & Milstead (2008) |
| Penggunaan Teknologi Pembelajaran Mesin dalam Pendidikan | Teknologi pembelajaran mesin dan algoritma pembelajaran mendalam digunakan untuk menyediakan persekitaran pembelajaran yang lebih dinamik dan dipersonalisasi dalam pendidikan Fizik Kuantum. | Xie et al. (2021) |
| Integrasi KB dalam Pendidikan STEM | Peningkatan penggunaan KB dalam pendidikan STEM membantu menyesuaikan kandungan pembelajaran kepada keperluan individu, mempercepatkan pemahaman konsep-konsep abstrak. | Khlaisang & Teo (2024) |
| Kesediaan Guru untuk Pengajaran Fizik Kuantum | Kesediaan guru di Sabah untuk mengajar Fizik Kuantum dan penerapan teknologi moden, termasuk KB, adalah tinggi, tetapi memerlukan lebih banyak latihan dan sokongan. | Sungkim, S., & Ishak, M. Z. (2022). |
| Keberkesanan Penggunaan Aplikasi Berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum | | |
| Peningkatan Pemahaman dan Penguasaan Konsep | Penggunaan aplikasi berasaskan KB meningkatkan pemahaman konsep Fizik Kuantum, membolehkan murid menguasai topik-topik yang sukar melalui pembelajaran yang lebih dinamik dan interaktif. | Yeadon & Hardy (2023), Mahliwati et al. (2023), Martínez (2023), Khlaisang & Teo (2024) |

bersambung

| | | |
|---|---|---|
| Sokongan untuk Guru melalui Latihan dan Pembelajaran Kendiri | Latihan dan sokongan guru adalah penting untuk memastikan keberkesanan penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum, terutamanya dalam meningkatkan penguasaan pelajar. | Park et al. (2023), Mahligawati (2023) |
| Peningkatan Motivasi dan Minat Pelajar | Penggunaan aplikasi berasaskan KB meningkatkan motivasi dan minat murid terhadap Fizik Kuantum melalui pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan personal. | Khlaisang & Teo (2024), Johansson & Milstead (2008) |
| Cabaran dalam Penerapan Aplikasi Berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum | | |
| Penyesuaian Kurikulum untuk Integrasikan KB | Penyesuaian kurikulum sedia ada untuk mengintegrasikan teknologi KB merupakan cabaran utama yang dihadapi oleh pendidik, terutamanya dalam subjek yang kompleks seperti Fizik Kuantum. | Khlaisang & Teo (2024) |
| Kesediaan Murid dalam Penggunaan KB | Kesediaan murid untuk menggunakan teknologi KB dalam pembelajaran juga menjadi kebimbangan, terutamanya dalam minat dan persediaan murid terhadap media yang disediakan. | Khlaisang & Teo (2024) |
| Latihan dan Infrastruktur Guru | Jurang dalam penyediaan latihan dan infrastruktur guru untuk penggunaan teknologi KB menghalang keberkesanan penerapan KB dalam PdP Fizik Kuantum. | Yi & Lee (2022), Meng & Sumettikoon (2022) |
| Isu Etika dan Privasi Data | Penggunaan KB dalam pendidikan menimbulkan isu etika berkaitan privasi data murid dan potensi bias dalam algoritma, yang perlu ditangani dengan teliti. | Xie et al. (2021), Martinez et al. (2023) |
| Kesukaran dalam Pengajaran Konsep Abstrak | Mengajar konsep Fizik Kuantum yang abstrak seperti prinsip ketidakpastian Heisenberg tetap mencabar walaupun dengan bantuan KB, kerana kekangan dalam penerapan konsep ini dalam kurikulum. | Johansson & Milstead (2008) |

e. Penerapan Aplikasi Berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum di Malaysia

Penekanan terhadap pendedahan awal murid kepada Revolusi Industri 4.0 memperkukuhkan keperluan untuk menggunakan KB dalam PdP bidang sains. Dengan mendekati teknologi ini lebih awal, pelajar dapat membangunkan kemahiran yang relevan dengan pasaran kerja moden yang semakin berpusatkan teknologi dalam tugas harian (Arshad et al, 2024). Ini sejajar dengan kajian ini yang menilai keberkesanan penggunaan KB dalam meningkatkan pemahaman konsep abstrak Fizik Kuantum, yang juga merupakan sebahagian daripada Revolusi Industri 4.0. Melalui integrasi aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum, murid dipersiapkan untuk dunia yang semakin berkembang pesat dan penuh dengan perubahan teknologi moden. Kajian Mohd Razali Abd Samad (2022) menunjukkan bahawa pelajar mempunyai persepsi positif terhadap penggunaan teknologi dan ini boleh membantu mengurangkan kebergantungan kepada kaedah pengajaran tradisional.

Kelemahan dalam penguasaan konsep Sains juga telah dikenalpasti oleh Lembaga Peperiksaan Malaysia (2010, 2013 & 2014), terutamanya dalam kalangan calon-calon yang tergolong dalam kumpulan prestasi rendah dalam peperiksaan Sijil Pelajaran Malaysia (SPM). Hal ini menunjukkan bahawa terdapat kekurangan dalam pemahaman mendalam terhadap konsep-konsep Sains, yang boleh mempengaruhi pencapaian akademik pelajar, terutamanya dalam subjek yang kompleks seperti Fizik Kuantum. Sehubungan dengan itu, ini menyokong matlamat kajian ini yang mengutamakan keberkesanan teknologi berasaskan KB berbanding kaedah konvensional. Dengan mengintegrasikan

teknologi dalam PdP Fizik Kuantum, pelajar dapat diberikan pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif dan mendalam. Sebagai contoh, eksperimen sebenar boleh ditunjukkan kepada pelajar melalui teknologi, yang sangat membantu pembelajaran dan meningkatkan pengetahuan mereka (Kolil et al., 2020; Ng & Chua, 2023; Rosli & Ishak, 2024). Dengan cara ini, teknologi KB berperanan dalam menyelesaikan kekurangan pemahaman konsep Sains yang dikenalpasti dalam kajian sebelumnya, sekaligus memperbaiki pencapaian pelajar dalam subjek yang mencabar ini.

Di samping itu, integrasi aplikasi berasaskan KB membolehkan murid mengembangkan kemahiran yang diperlukan untuk menjadi saintis, pencipta, dan pemikir kreatif dalam dunia pendidikan sains, di mana Arshad et al. (2024) menyatakan bahawa PdP dengan integrasi teknologi KB dapat membuka laluan ke arah pengalaman pembelajaran digital yang lebih berkesan dan berkualiti dalam persekitaran yang dinamik di Malaysia. Untuk mencapai keberkesanan penuh dalam pembelajaran digital dan PdP yang berintegrasikan aplikasi berasaskan KB, para pendidik dan pembuat dasar perlu menangani cabaran-cabaran berkaitan infrastruktur digital, termasuk akses internet yang stabil dan peranti yang mencukupi di sekolah-sekolah di Malaysia. Ini adalah langkah penting untuk mewujudkan persekitaran pembelajaran yang lebih inklusif, menarik dan inovatif bagi murid pasca pandemik COVID-19 (Arshad et al., 2024).

Sebagai kesimpulan, integrasi teknologi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum tidak hanya memberikan peluang kepada pelajar untuk menguasai konsep-konsep abstrak dengan lebih mendalam, tetapi juga mempersiapkan mereka untuk menghadapi dunia yang semakin didominasi oleh teknologi. Dengan menggunakan teknologi dalam pendidikan, pelajar dapat mengembangkan kemahiran yang relevan dengan keperluan pasaran kerja semasa dan mempertingkatkan penguasaan dalam bidang sains. Walau bagaimanapun, untuk mencapai keberkesanan penuh dalam penggunaan teknologi ini, perhatian perlu diberikan kepada aspek penyediaan infrastruktur digital yang kukuh serta peningkatan kemahiran pengendalian teknologi di kalangan pendidik. Oleh itu, langkah-langkah ini adalah kritikal dalam memastikan pembelajaran yang lebih inklusif, berkesan, dan relevan dengan perkembangan pendidikan sains di Malaysia, terutamanya dalam era pasca pandemik ini.

KESIMPULAN

Kajian ini telah membuktikan bahawa penggunaan aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum memberikan banyak faedah dalam meningkatkan pemahaman murid terhadap konsep-konsep abstrak dan kompleks. Penggunaan teknologi seperti *ChatGPT*, *Virtual Lab*, dan sistem pembelajaran berbalik telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam prestasi akademik, motivasi, serta minat murid terhadap subjek yang mencabar ini. Aplikasi berasaskan KB juga telah membantu dalam memperibadikan pengalaman pembelajaran dan menyediakan murid dengan alat yang lebih interaktif dan dinamik. Walau bagaimanapun, kajian ini juga mengenal pasti beberapa cabaran yang perlu diatasi untuk memastikan keberkesanan penerapan KB dalam pendidikan Fizik Kuantum. Cabaran-cabaran ini termasuk kesukaran dalam menyesuaikan kurikulum, kesediaan guru dan pelajar, serta isu-isu etika dan privasi data. Oleh itu, penting untuk memastikan latihan yang mencukupi dan penyediaan infrastruktur yang relevan bagi memaksimumkan manfaat teknologi ini dalam pendidikan. Secara keseluruhannya, integrasi aplikasi berasaskan KB dalam PdP Fizik Kuantum menunjukkan potensi besar untuk mengubah cara PdP dijalankan, menjadikan proses pembelajaran lebih menarik, interaktif, dan berkesan. Namun, untuk mencapai hasil yang optimum, perhatian yang teliti perlu diberikan kepada cabaran-cabaran yang telah dikenalpasti, agar teknologi ini dapat dimanfaatkan sepenuhnya dalam konteks pendidikan moden. Berdasarkan hasil kajian dan rumusan yang telah dibincangkan, terdapat beberapa harapan yang penulis ingin sampaikan bagi memperkukuhkan lagi keberkesanan integrasi teknologi KB dalam PdP Fizik Kuantum. Penulis berharap agar kurikulum pendidikan di negara ini lebih menyokong penggunaan teknologi KB melalui inisiatif penyediaan latihan kemahiran yang komprehensif kepada guru-guru. Latihan ini penting untuk memastikan pengintegrasian teknologi KB yang optimum dalam PdP Fizik Kuantum, sekaligus membantu guru-guru menguasai kemahiran digital yang diperlukan untuk memanfaatkan sepenuhnya teknologi ini dalam usaha meningkatkan pemahaman murid terhadap konsep-konsep Fizik Kuantum yang abstrak. Selain itu, penulis berharap

agar penyelidikan dalam bidang teknologi pendidikan, khususnya yang berkaitan dengan teknologi KB, akan terus dijalankan. Penyelidikan yang berterusan ini adalah penting untuk memastikan teknologi KB dapat disesuaikan dan diperbaiki mengikut keperluan pendidikan yang sentiasa berubah. Dalam konteks ini, penulis juga berharap pihak pembuat dasar pendidikan akan terus menyokong penggunaan teknologi dalam pendidikan, bukan sahaja melalui peruntukan bajet yang mencukupi, tetapi juga dengan memperkenalkan polisi dan infrastruktur yang dapat memperkukuhkan penggunaan teknologi ini dalam sistem pendidikan kita. Sebagai kesimpulan, penulis menekankan kepentingan pemantauan dan penilaian yang berterusan terhadap pelaksanaan teknologi KB dalam PdP Fizik Kuantum. Dengan mendapatkan maklum balas daripada guru, pelajar, dan pihak berkepentingan lain, kita dapat memastikan bahawa penggunaan teknologi ini benar-benar memberi manfaat yang signifikan dan membantu meningkatkan kualiti pendidikan secara keseluruhan.

RUJUKAN

- Ajmain, M. T., Mahpuz, A. N. A., Rahman, S. N. H. A., & Mohamad, A. M. (2019). Industrial revolution 4.0: Innovation and challenges of Islamic education teachers in teaching. *BITARA International Journal of Civilizational Studies and Human Sciences* (e-ISSN: 2600-9080), 2(1), 38-47.
- Alkhalidi, T., Pranata, I., & Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Journal of Computers in Education*, 3(3), 329–351. <https://doi.org/10.1007/s40692-016-0068-z>.
- Arshad, B., Ishak, N. A., & Zaharudin, R. (2024). New Norms: Enhancing Biology Achievement, Creativity, and Student Innovation Post-Covid-19 Through Virtual Science Inquiry-Based Learning and Augmented Reality Applications. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia*, 14(2), 49–64. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.2.5.2024>
- Asadovna, F. K. (2020). Modern pedagogical technologies of teaching physics in secondary school. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences*, 8(12), 85-90.
- Aziz, N., & Sieng, L. W. (2019). Impak pendidikan berasaskan teknologi terhadap peningkatan prestasi murid di UKM. *Jurnal Personalia Pelajar*, 22(1).
- Bogusevski, D., Muntean, C., & Muntean, G. M. (2020). Teaching and learning physics using 3D virtual learning environment: A case study of combined virtual reality and virtual laboratory in secondary school. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 39(1), 5-18.
- Cao, X. (2020). Experimental Research and Data Analysis in Physics Education. *International Journal of Frontiers in Sociology*, 2(7).
- Chiu, T. K., Meng, H., Chai, C. S., King, I., Wong, S., & Yam, Y. (2021). Creation and evaluation of a pretertiary artificial intelligence (AI) curriculum. *IEEE Transactions on Education*, 65(1), 30-39.
- Coll-Serrano, V., Pardo-Garcia, C., & Pérez, P. J.. (2018). *Teaching-learning methods and their effect on professional development and the development of graduates' competencies / Métodos de enseñanza-aprendizaje y su efecto en el desarrollo profesional y competencial de los egresados*. 30(3). <https://doi.org/10.1080/11356405.2018.1494773>
- Dito, S. B., & Pujiastuti, H. (2021). Dampak IR4.0 pada sektor pendidikan: kajian literatur mengenai digital learning pada pendidikan dasar dan menengah. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 4(2), 59-65.
- Felix, C. V. (2020). The role of the teacher and AI in education. In *International perspectives on the role of technology in humanizing higher education* (pp. 33-48). Emerald Publishing Limited.
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Guerrero-Quiñonez, A. J., Bedoya-Flores, M. C., Mosquera-Quiñonez, E. F., Ango-Ramos, E. D., & Mesías-Simisterra, Á. E. (2023). Higher Education 4.0: brief considerations. *Ibero-American Journal of Education & Society Research*, 3(1), 272-275.
- Gunawan, K. D. H., Kaniawati, I., & Setiawan, W. (2021, November). The responses to artificial intelligence in teacher integrated science learning training program. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2098, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.
- Hamed, G., & Aljanazah, A. (2020). The effectiveness if using virtual experiments on students' learning in the general physics lab.
- Hatisaru, V., Falloon, G., Seen, A., Fraser, S., Powling, M., & Beswick, K. (2023). Educational leaders' perceptions of STEM education revealed by their drawings and texts. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2023.2170290>
- Himmeloglu, B., Ayduğ, D., & Bayrak, C. (2020). Education 4.0: Defining the teacher, the student, and the school manager aspects of the revolution. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 21(Special Issue-IODL), 12-28.
- Howard, P., O'Brien, C., Kay, B., & O'Rourke, K. (2019). Leading educational change in the 21st century: Creating living schools through shared vision and transformative governance. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/su11154109>
- Ilyana Jalaluddin. (2022, December 7). *Anjakan TS25 teknologi dan pembelajaran abad ke-21*. Harian Metro. Retrieved March 20, 2024, from <https://www.hmetro.com.my/rencana/2022/12/912608/anjakan-ts25-teknologi-dan-pembelajaran-abad-ke-21>
- Jain, J., & Kaur, M. (2022). Moving labs out of labs: Teachers' perceived effectiveness of virtual laboratories during pandemic school closures. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(11). <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.11.1749>.
- Jamal, S. N. B., Ibrahim, N. H. B., & Surif, J. B. (2019). Concept cartoon in problem-based learning: A systematic literature review analysis. *JOTSE: Journal of Technology and Science Education*, 9(1), 51-58.
- Jerki, A., & Han, C. G. K. (2020). Influence of Teaching Experience in Knowledge, Motivation and Implementation of STEM Teaching and Learning: Pengaruh Pengalaman Mengajar dalam Pengetahuan,

- Motivasi dan Pelaksanaan Pengajaran dan Pembelajaran STEM. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia*, 10(2), 45-56.
- Johansson, K. E., & Milstead, D. (2008). Uncertainty in the classroom—teaching quantum physics. *Physics Education*, 43(2), 173.
- Kaplan-Rakowski, R., Grotewold, K., Hartwick, P., & Papin, K. (2023). Generative AI and teachers' perspectives on its implementation in education. *Journal of Interactive Learning Research*, 34(2), 313-338.
- Kementerian Pendidikan Malaysia (2015). Annual Report 2015 MALAYSIA EDUCATION BLUEPRINT 2013-2025. Malaysia.
- Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM). (2012). Laporan Awal Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia 2013-2025. <http://www.moe.gov.my/userfiles/file/PPP/Preliminary-Blueprint-ExecSummary-BM.pdf>
- Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM). (2013). Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (PPPM 2013-2025).
- Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM). (2015). Pembelajaran abad ke-21: Amalan dan Pelaksanaan di sekolah. Buletin Anjakan: *Buletin Transformasi Pendidikan Malaysia* 2013–2016. [http://www.padu.edu.my/files/Anjakan_Bil_4_\(2015\)_Final.pdf](http://www.padu.edu.my/files/Anjakan_Bil_4_(2015)_Final.pdf)
- Kim, J. (2023). Leading teachers' perspective on teacher-AI collaboration in education. *Education and Information Technologies*, 1-32.
- Kolil, V. K., Muthupalani, S., & Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-020-00204-3>.
- Lembaga Peperiksaan Malaysia (2010). *Kupasan mutu jawapan SPM 2010 Biologi 2 4551/2*. Putrajaya.
- Lembaga Peperiksaan Malaysia (2013). *Kupasan mutu jawapan SPM 2013 Biologi 2 4551/2*. Putrajaya.
- Lembaga Peperiksaan Malaysia (2014). *Kupasan mutu jawapan SPM 2014 Biologi 2 4551/2*. Putrajaya.
- Lynch, M. (2018). The Effects of Artificial Intelligence on Education. <https://www.theedadvocate.org/the-effectsof-artificial-intelligence-on-education/>
- Lestari, D. P., Supahar, Paidi, Suwarjo, & Herianto. (2023). Effect of science virtual laboratory combination with demonstration methods on lower-secondary school students' scientific literacy ability in a science course. *Education and Information Technologies*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11857-8>.
- Mahligawati, F., Allanas, E., Butarbutar, M. H., & Nordin, N. A. N. (2023, September). Artificial intelligence in Physics Education: a comprehensive literature review. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2596, No. 1, p. 012080). IOP Publishing.
- Manikowati, & Iskandar, D. (2018). Pengembangan mobile virtual laboratorium untuk pembelajaran praktikum siswa SMA. *Kwangsan: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 06(01), 23–42. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31800/jtp.kw.v6n1.p23--42>.
- Mayilyan, H. (2019). Augmented reality in education, ar globe project assessment in actual teaching-learning environment. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 18(3), 1-14.
- Meng, W., & Sumettikoon, P. (2022). The use of artificial intelligence to enhance teaching effectiveness in vocational education. *Eurasian Journal of Educational Research*, 98(98), 266-283.
- Mpofu, V. (2020). A theoretical framework for implementing STEM education. In K. G. Fomunyam (Ed.), *Theorizing STEM education in the 21st century* (pp. 1–15). IntechOpen. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.014>
- Muda, R., Fadzil, H. M., & Abd Razak, A. Z. (2023). PERKEMBANGAN PENDIDIKAN STEM: PERSEPSI SEMASA PEMIMPIN SEKOLAH SEBAGAI PEMIMPIN STEM. *JuPiDi: Jurnal Kepimpinan Pendidikan*, 10(4), 56-75.
- Negrilă, A. M. C. (2023). The New Revolution in Language Learning: The Power of Artificial Intelligence and Education 4.0. *Bulletin of "Carol I" National Defence University (EN)*, 12(02), 16-27.
- Ng, M. E., & Chua, K. H. (2023). The effect of using PHET in changing Malaysian students' attitude to learning physics in a full virtual environment. *Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities*, 31(2). <https://doi.org/10.47836/pjssh.31.2.05>.
- Nugraha, M. T., Fahmi, M. R., & Prakoso, I. A. (2023). Integrasi Tradisi Dan Teknologi Dalam Pembelajaran Fiqh Dengan Pemanfaatan Chatgpt. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(6), 4486-4495.
- Nusantara, T. (2018, September). Desain Pembelajaran 4.0. In *Prosiding Seminar Nasional Lembaga Penelitian dan Pendidikan (LPP) Mandala*.
- Park, J., Teo, T. W., Teo, A., Chang, J., Huang, J. S., & Koo, S. (2023). Integrating artificial intelligence into science lessons: teachers' experiences and views. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 61.
- Pedaste, M., Mitt, G., & Jürivete, T. (2020). What is the effect of using mobile augmented reality in K12 inquiry-based learning?. *Education Sciences*, 10(4), 94. <http://dx.doi.org/10.3390/educsci10040094>.
- Ramadhina, N., Jason, F., Pratama, M. F., Raihan, L. A., Al Mufti, S., & Meranti, M. (2023). Dinamika Perubahan dalam Komunikasi Manusia di Era Teknologi Artificial Intelligence. *Communicator Sphere*, 3(2), 114-123.

- Rosli, R., & Ishak, N. A. (2022). Implementation of virtual laboratory in learning biology to improves students' achievement, science process skills and self efficacy. *International Journal of Education, Islamic Studies and Social Science Research*, 7(1), 115-131.
- Rosli, R., & Ishak, N. A. (2024). Integration of Virtual Labs in Science Education: A Systematic Literature Review. *Jurnal Pendidikan Sains Dan Matematik Malaysia*, 14(1), 81–103. <https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol14.1.8.2024>.
- Sanusi, I. T., Ayanwale, M. A., & Chiu, T. K. (2023). Investigating the moderating effects of social good and confidence on teachers' intention to prepare school students for artificial intelligence education. *Education and information technologies*, 1-23.
- Shaher Elayyan. (2021). The future of education according to the fourth industrial revolution Technologies of IR 4.0 Learning opportunities. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, 4(1), 2021. <http://dergipark.org.tr/jetolDoi:http://doi.org/10.31681/jetol.737193>
- Shahroom, A. A., & Hussin, N. (2018). Industrial Revolution 4.0 and Education. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(9), 314–319. <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v8-i9/4593>.
- Siong, W. W., & Osman, K. (2018). Pembelajaran berasaskan permainan dalam pendidikan STEM dan penguasaan kemahiran abad ke-21. *Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Social Sciences and Humanities*, 3(1), 121-135.
- Sulaiman, J., & Ismail, S. N. (2020). Teacher competence and 21st century skills in transformation schools 2025 (TS25). *Universal Journal of Educational Research*, 8(8), 3536-3544.
- Sungkim, S., & Ishak, M. Z. (2022). Teacher Readiness in Terms of the Teacher Attitudes Towards Teaching Secondary School Quantum Physics in Sabah. *International Research Journal of Education and Sciences*, 6(2), 30-35.
- Tukiar, M. A., Kassim, N. F., & Hassan H. (2022). Narrative Review on Integrating Technology into Instruction to Support for the New Pedagogical Deep Learning (NPDL). *International Journal of Education, Psychology and Counseling*, 7 (47), 893-902.
- Utusan Malaysia. (2024, March 16). *Penggunaan teknologi maklumat dalam P&P tingkatkan kecemerlangan*. Retrieved March 22, 2024, from <https://www.utusan.com.my/nasional/2024/03/penggunaan-teknologi-maklumat-dalam-pp-tingkatkan-kecemerlangan/>
- Wogu, I. A. P., Misra, S., Assibong, P. A., Olu-Owolabi, E. F., Maskeliūnas, R., & Damasevicius, R. (2019). Artificial Intelligence, Smart Classrooms and Online Education in the 21st Century: Implications for Human Development. *Journal of Cases on Information Technology*, 21(3).
- Yeadon, W., & Hardy, T. (2023). The Impact of AI in Physics Education: A Comprehensive Review from GCSE to University Levels. arXiv preprint arXiv:2309.05163.
- Yi, S., & Lee, Y. (2022). Effect of Convergence Curriculum using Machine Learning Educational Platform on Artificial Intelligence Teaching Efficacy of Pre-Service Teachers. *Journal of Digital Contents Society*, 23(4), 665-674.