

Integrasi Kecerdasan Buatan (AI) dalam Pengajaran dan Pembelajaran Sains Sekolah Menengah: Analisis Perspektif Guru

(Integration of Artificial Intelligence (AI) in Secondary School Science Teaching and Learning: An Analysis of Teachers' Perspectives)

Nurul Ezzati Abu Hasan^{1*} , Kamisah Binti Osman²

¹Fakulti Pendidikan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia
Email: zatiezzati210491@gmail.com

²Fakulti Pendidikan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia
Email: kamisah@ukm.edu.my

CORRESPONDING

AUTHOR (*):

Nurul Ezzati Abu Hasan
(zatiezzati210491@gmail.com)

KATA KUNCI:

Kecerdasan buatan
Pengajaran dan pembelajaran
Sains sekolah menengah
Peluang dan cabaran
Persepsi guru

KEYWORDS:

Artificial intelligence
Teaching and learning
Secondary school science
Opportunities and challenges
Teacher perspectives

CITATION:

Nurul Ezzati, A. H., & Kamisah, O. (2026). Integrasi Kecerdasan Buatan (AI) dalam Pengajaran dan Pembelajaran Sains Sekolah Menengah: Analisis Perspektif Guru. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities (MJSSH)*, 11(4), e003866. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v11i4.3866>

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan meneroka peluang dan cabaran integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam pengajaran dan pembelajaran (PdP) sains sekolah menengah daripada perspektif guru sains di Malaysia. Kajian menggunakan pendekatan kualitatif dengan reka bentuk kajian kes. Data dikumpulkan melalui temu bual separa berstruktur melibatkan lapan orang guru sains sekolah menengah yang dipilih secara pensampelan bertujuan. Data dianalisis menggunakan analisis tematik berdasarkan prosedur Braun dan Clarke. Dapatan kajian menunjukkan bahawa AI berpotensi menyokong pembelajaran diperibadikan, meningkatkan penglibatan murid serta membantu guru dalam pentaksiran melalui analitik pembelajaran. Walau bagaimanapun, cabaran utama yang dikenal pasti termasuk tahap kesediaan dan kompetensi guru yang berbeza, kekangan infrastruktur digital serta kebimbangan terhadap isu etika dan privasi data murid. Kajian ini menegaskan bahawa keberkesanan integrasi AI dalam PdP sains bergantung kepada keseimbangan antara teknologi, pedagogi dan sokongan organisasi. Implikasi kajian mencadangkan keperluan latihan profesional berfokus, penambahbaikan infrastruktur dan pembangunan garis panduan etika bagi memastikan penggunaan AI yang berkesan dan bertanggungjawab dalam konteks sekolah menengah Malaysia.

ABSTRACT

This study aims to explore the opportunities and challenges of integrating Artificial Intelligence (AI) in the teaching and learning of secondary school science from the perspective of science teachers in Malaysia. A qualitative approach employing a case study design was adopted to obtain in-depth insights into teachers' experiences and perceptions. Data were collected through semi-structured

interviews involving eight secondary school science teachers selected using purposive sampling. The data were analysed using thematic analysis based on the procedures proposed by Braun and Clarke (2006). The findings indicate that AI has significant potential to support personalised learning, enhance student engagement, and assist teachers in assessment through learning analytics. However, several challenges were identified, including varying levels of teacher readiness and competency, digital infrastructure constraints, and concerns regarding ethical issues and student data privacy. The study highlights that the effectiveness of AI integration in science teaching depends on a balanced alignment between technology, pedagogy, and institutional support. The implications of this study suggest the need for focused professional development programmes, improvement of digital infrastructure, and the establishment of clear ethical guidelines to ensure responsible and effective use of AI in Malaysian secondary schools.

Sumbangan/Keaslian: Kajian ini menyumbang kepada literatur sedia ada dengan meneroka secara mendalam perspektif guru sains terhadap integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam PdP sekolah menengah di Malaysia. Sumbangan utama kajian ini ialah mengenal pasti peluang dan cabaran sebenar pelaksanaan AI berasaskan pengalaman guru melalui pendekatan kualitatif.

1. Pengenalan

Kemajuan pesat kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) telah mencetuskan perubahan besar dalam landskap pendidikan global, khususnya dari segi pendekatan pengajaran dan pembelajaran (PdP). AI merujuk kepada sistem komputer yang berupaya meniru keupayaan kognitif manusia seperti pembelajaran, penaaakulan dan pembuatan keputusan (Russell & Norvig, 2021). Dalam pendidikan, teknologi AI digunakan untuk menyokong pembelajaran diperibadikan, pentaksiran adaptif, analisis pembelajaran serta sokongan pedagogi kepada guru.

Dalam konteks pengajaran dan pembelajaran sains di sekolah menengah, integrasi AI menjadi semakin relevan sejajar dengan keperluan melahirkan murid yang berfikiran saintifik, celik teknologi dan berkeupayaan menyelesaikan masalah kompleks abad ke-21. Mata pelajaran sains menuntut pemahaman konsep yang mendalam, keupayaan menaakul serta penguasaan kemahiran proses sains, yang sering kali mencabar murid sekiranya pendekatan PdP bersifat tradisional dan berpusatkan guru. Justeru, AI dilihat sebagai satu pendekatan inovatif yang berpotensi menyokong PdP sains yang lebih interaktif, berfokuskan murid dan berasaskan data pembelajaran sebenar. Namun demikian, tahap penerimaan dan pelaksanaan AI dalam PdP sains di sekolah menengah masih berbeza-beza, khususnya dalam konteks pendidikan Malaysia.

Kepentingan integrasi AI dalam pendidikan telah ditegaskan oleh pelbagai organisasi antarabangsa dan dasar pendidikan negara. UNESCO (2021) menekankan bahawa AI berpotensi meningkatkan kualiti, keterangkuman dan keberkesanan pendidikan sekiranya dilaksanakan secara beretika dan bertanggungjawab. Di Malaysia, Pelan Pembangunan Pendidikan Malaysia (PPPM) 2013–2025 menggariskan kepentingan

pemanfaatan teknologi digital bagi meningkatkan keberkesanan PdP serta membangunkan modal insan berkemahiran tinggi.

Selain itu, Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) melalui inisiatif Pendigitalan Pendidikan dan Dasar Pendidikan Digital (2023) turut menggalakkan penggunaan teknologi pintar dalam PdP bagi menyokong pembelajaran bermakna. Dalam pengajaran sains, penggunaan teknologi berasaskan AI seperti simulasi pintar, analitik pembelajaran dan sistem sokongan PdP didapati mampu meningkatkan penglibatan murid serta membantu guru menyesuaikan pengajaran mengikut tahap kebolehan murid (Holmes, Bialik & Fadel, 2019). Walau bagaimanapun, kajian tempatan menunjukkan bahawa penggunaan teknologi digital dalam kalangan guru masih berada pada tahap sederhana dan lebih tertumpu kepada fungsi asas, berbanding aplikasi berasaskan AI yang lebih kompleks (Kamarudin & Osman, 2022). Keadaan ini menimbulkan persoalan tentang kesediaan sebenar guru sains untuk mengintegrasikan AI secara bermakna dalam PdP.

Sorotan literatur menunjukkan bahawa AI dalam pendidikan menawarkan pelbagai peluang, antaranya pembelajaran diperibadikan, maklum balas segera dan sokongan kepada guru dalam membuat keputusan pedagogi (OECD, 2021). Dalam bidang sains, teknologi AI seperti makmal maya adaptif dan simulasi pintar membantu murid memahami konsep abstrak serta meningkatkan kemahiran inkuiri saintifik (Makransky & Petersen, 2019). Namun demikian, beberapa kajian turut menekankan cabaran utama dalam integrasi AI, termasuk kekurangan latihan profesional guru, kebimbangan terhadap isu etika dan privasi data, serta jurang kemahiran digital (Zawacki-Richter et al., 2019). Di Malaysia, penyelidikan berkaitan AI dalam pendidikan masih terhad dan kebanyakannya memfokuskan aspek teknologi digital secara umum, bukan AI secara khusus. Kajian oleh Hamzah et al. (2021) menunjukkan bahawa guru masih memerlukan sokongan berterusan dari segi latihan dan panduan pedagogi untuk mengintegrasikan teknologi canggih dalam PdP. Tambahan pula, kajian yang meneliti perspektif guru sains sebagai pelaksana utama PdP terhadap peluang dan cabaran AI masih kurang diterokai, terutamanya menggunakan pendekatan kualitatif.

Walaupun dasar dan literatur menekankan potensi AI dalam pendidikan, pelaksanaan AI dalam PdP sains sekolah menengah di Malaysia masih belum menyeluruh. Terdapat jurang antara aspirasi dasar dan realiti amalan bilik darjah, khususnya dari segi kefahaman, kesediaan dan keyakinan guru sains terhadap penggunaan AI. Kebanyakan guru masih kurang pendedahan terhadap konsep AI serta aplikasinya dalam PdP sains, menyebabkan teknologi digunakan secara terhad dan tidak berasaskan pedagogi yang jelas.

Selain itu, kebanyakan kajian terdahulu menggunakan pendekatan kuantitatif yang menilai tahap penerimaan atau kesediaan guru, tanpa meneroka secara mendalam pengalaman, pandangan dan cabaran sebenar yang dihadapi oleh guru dalam konteks PdP sains. Kekurangan kajian kualitatif yang meneliti suara guru sains secara langsung mewujudkan kelompongan penyelidikan yang signifikan dalam bidang pendidikan sains.

Sehubungan itu, kajian ini bertujuan meneroka peluang dan cabaran integrasi AI dalam pengajaran dan pembelajaran sains sekolah menengah dari perspektif guru sains melalui pendekatan kualitatif menggunakan kaedah temu bual. Dapatan kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam dan kontekstual mengenai realiti pelaksanaan AI di bilik darjah sains, seterusnya menyumbang kepada

pengisian jurang literatur sedia ada. Selain itu, hasil kajian ini berpotensi menjadi asas kepada pembangunan garis panduan, latihan profesional dan dasar pendidikan yang lebih berfokus bagi menyokong integrasi AI secara berkesan, beretika dan selari dengan matlamat pendidikan Malaysia.

Walaupun penyelidikan berkaitan kecerdasan buatan dalam pendidikan semakin berkembang di peringkat global, kebanyakan kajian tertumpu kepada konteks pendidikan tinggi atau menggunakan pendekatan kuantitatif yang menilai tahap penerimaan teknologi secara umum. Kajian yang memberi tumpuan khusus kepada integrasi AI dalam pengajaran dan pembelajaran sains sekolah menengah di Malaysia masih sangat terhad. Lebih penting, suara guru sebagai pelaksana utama PdP kurang diketengahkan dalam memahami realiti pelaksanaan AI di bilik darjah. Kekurangan penyelidikan kualitatif yang meneliti pengalaman sebenar guru mewujudkan jurang literatur yang signifikan. Oleh itu, kajian ini menawarkan sumbangan baharu dengan menyediakan analisis mendalam berasaskan pengalaman guru sains dalam konteks sekolah menengah Malaysia, sekali gus memperkaya perbincangan tentang kesiediaan pedagogi dan cabaran sistemik dalam integrasi AI.

2. Sorotan Literatur

2.1. Kecerdasan Buatan (AI) dalam Pendidikan: Perkembangan dan Konsep Asas

Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence, AI) merujuk kepada keupayaan sistem komputer untuk meniru proses kognitif manusia seperti pembelajaran, penaakulan dan penyelesaian masalah (Russell & Norvig, 2021). Dalam konteks pendidikan, AI digunakan untuk menyokong pembelajaran melalui sistem tutor pintar, pembelajaran diperibadikan, analitik pembelajaran serta automasi pentaksiran. Perkembangan AI dalam pendidikan bermula secara perlahan pada dekad 1990-an melalui sistem tutor pintar, namun menunjukkan pertumbuhan pesat selari dengan kemajuan *machine learning* dan *big data* dalam dekad terkini (Holmes et al., 2019).

Literatur antarabangsa menegaskan bahawa AI bukan bertujuan menggantikan peranan guru, sebaliknya berfungsi sebagai alat sokongan pedagogi yang dapat meningkatkan keberkesanan PdP (OECD, 2021). UNESCO (2021) turut menekankan bahawa penggunaan AI dalam pendidikan perlu berteraskan prinsip beretika, inklusif dan berpusatkan manusia. Walau bagaimanapun, kajian awal cenderung menumpukan aspek teknikal AI, dengan penekanan yang terhad terhadap implikasi pedagogi dan konteks sebenar bilik darjah, terutamanya di peringkat sekolah menengah. Kajian sistematik terkini menunjukkan peningkatan signifikan penyelidikan AI dalam pendidikan selepas tahun 2020, khususnya dalam aspek pembelajaran adaptif dan analitik pembelajaran (Zhai et al., 2021; Chen et al., 2020).

2.2. Integrasi AI dalam Pengajaran dan Pembelajaran Sains

Pengajaran dan pembelajaran sains mempunyai keperluan pedagogi yang unik kerana melibatkan pemahaman konsep abstrak, penaakulan saintifik dan kemahiran inkuiri. Kajian terdahulu menunjukkan bahawa AI berpotensi menyokong PdP sains melalui simulasi adaptif, makmal maya dan sistem sokongan pembelajaran yang disesuaikan mengikut keperluan murid (Makransky & Petersen, 2019). Teknologi ini membolehkan murid meneroka fenomena saintifik yang sukar divisualisasikan dalam persekitaran sebenar.

Holmes et al. (2019) menyatakan bahawa AI dapat menyokong pembelajaran sains melalui pembelajaran diperibadikan yang mengambil kira tahap kefahaman dan kadar pembelajaran murid. Walau bagaimanapun, kebanyakan kajian keberkesanan AI dalam PdP sains dijalankan dalam persekitaran terkawal atau pendidikan tinggi, menyebabkan kebolegunaan dapatan tersebut dalam konteks sekolah menengah masih dipersoalkan. Selain itu, kajian-kajian ini lebih menekankan hasil pembelajaran kognitif berbanding pengalaman pedagogi guru dan murid.

2.3. Peluang Integrasi AI dalam PdP Sains

Antara peluang utama integrasi AI ialah keupayaannya menyokong pembelajaran diperibadikan. Sistem berasaskan AI mampu menganalisis data pembelajaran murid dan menyesuaikan kandungan, aktiviti serta maklum balas mengikut keperluan individu (OECD, 2021). Dalam PdP sains, pendekatan ini membantu murid yang lemah memahami konsep asas, di samping mencabar murid cemerlang dengan tugas aras tinggi.

Kajian menunjukkan bahawa pembelajaran diperibadikan berasaskan AI meningkatkan penglibatan murid dan motivasi belajar, terutamanya dalam topik sains yang kompleks (Makransky & Petersen, 2019). Namun, literatur turut mengkritik bahawa keberkesanan pembelajaran diperibadikan bergantung kepada kualiti reka bentuk pedagogi, bukan semata-mata teknologi yang digunakan.

2.4. Sokongan kepada Guru dan Pentaksiran Pintar

AI juga menawarkan peluang untuk menyokong guru melalui analitik pembelajaran dan automasi pentaksiran. Sistem AI dapat membantu guru mengenal pasti corak pembelajaran murid, kelemahan konsep dan keperluan intervensi awal (Holmes et al., 2019). Dalam konteks PdP sains, maklum balas segera yang dihasilkan oleh sistem AI membantu guru menyesuaikan strategi pengajaran secara lebih berkesan.

Walaupun bagaimanapun, beberapa kajian mengingatkan bahawa penggunaan AI dalam pentaksiran perlu dilaksanakan secara berhati-hati bagi mengelakkan penilaian yang terlalu mekanistik dan mengabaikan aspek kemahiran saintifik aras tinggi (OECD, 2021). Ini menunjukkan keperluan kepada keseimbangan antara sokongan teknologi dan pertimbangan profesional guru.

2.5. Cabaran Integrasi AI dalam Pendidikan Sains

Literatur secara konsisten melaporkan bahawa kesediaan guru merupakan cabaran utama dalam integrasi AI. Zawacki-Richter et al. (2019) mendapati bahawa kebanyakan guru mempunyai kefahaman terhad terhadap konsep AI dan aplikasinya dalam PdP. Di Malaysia, kajian oleh Kamarudin dan Osman (2022) menunjukkan bahawa penggunaan teknologi digital dalam kalangan guru masih tertumpu kepada aplikasi asas, manakala penggunaan teknologi pintar seperti AI masih rendah. Kekurangan latihan profesional yang berfokuskan pedagogi AI menyebabkan guru kurang yakin untuk mengintegrasikan AI secara bermakna dalam PdP sains. Situasi ini menunjukkan bahawa integrasi AI bukan sekadar isu teknologi, tetapi juga melibatkan pembangunan profesional guru yang berterusan. Dalam konteks Malaysia, tahap kesediaan digital guru masih menunjukkan variasi yang signifikan, khususnya dalam penggunaan teknologi

pintar berasaskan AI (Ismail & Abd Rahman, 2022; Salleh & Othman, 2021).

2.6. Isu Etika, Privasi dan Infrastruktur

Isu etika dan privasi data turut menjadi kebimbangan utama dalam literatur. UNESCO (2021) menekankan risiko penyalahgunaan data murid serta ketidaktelusan algoritma AI. Dalam konteks sekolah menengah, isu ini menjadi lebih kritikal kerana melibatkan murid bawah umur. Selain itu, jurang infrastruktur digital antara sekolah turut menjejaskan pelaksanaan AI secara saksama. Kajian tempatan menunjukkan bahawa perbezaan akses kepada kemudahan teknologi dan sokongan teknikal menyumbang kepada ketidakseimbangan dalam penggunaan teknologi digital di sekolah (Hamzah et al., 2021). Hal ini menimbulkan persoalan tentang kebolehlaksanaan AI dalam PdP sains secara meluas di Malaysia.

2.7. Perspektif Guru terhadap Integrasi AI

Kajian-kajian terkini menegaskan kepentingan memahami perspektif guru sebagai pelaksana utama PdP. Pendekatan kualitatif membolehkan penyelidik meneroka pengalaman sebenar guru, termasuk persepsi, kebimbangan dan strategi penyesuaian terhadap teknologi baharu (Creswell & Poth, 2018). Namun, literatur menunjukkan bahawa kajian kualitatif berkaitan AI dalam pendidikan sains masih terhad, terutamanya di konteks negara membangun. Di Malaysia, penyelidikan yang meneliti pengalaman guru sains terhadap integrasi AI secara mendalam hampir tidak wujud, menyebabkan kefahaman tentang realiti pelaksanaan AI di bilik darjah masih kabur. Kekosongan ini menjustifikasikan keperluan kajian kualitatif yang memberi suara kepada guru sains.

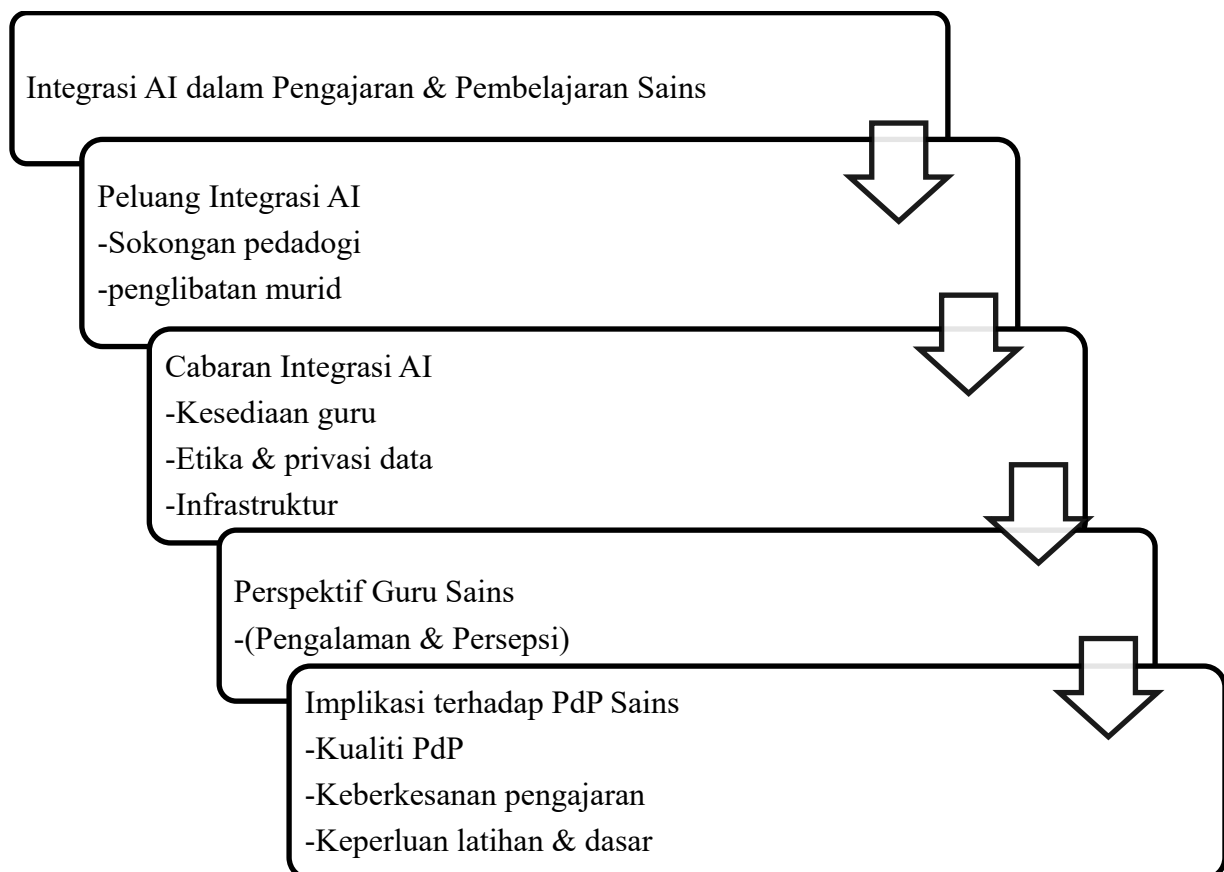
2.8. Kerangka Konsep Kajian

Berdasarkan sintesis literatur, kajian ini disokong oleh kerangka konsep yang menghubungkan integrasi AI dalam PdP sains dengan peluang (pembelajaran diperibadikan, sokongan pedagogi, penglibatan murid) dan cabaran (kesediaan guru, isu etika, infrastruktur). Perspektif guru sains berfungsi sebagai lensa utama untuk memahami interaksi antara peluang dan cabaran ini dalam konteks sebenar bilik darjah. Kerangka ini menegaskan bahawa keberkesanan integrasi AI bergantung kepada keselarasan antara teknologi, pedagogi dan konteks pendidikan. Kerangka konsep kajian ini dibangunkan berdasarkan sintesis literatur berkaitan kecerdasan buatan (AI) dalam pendidikan serta kajian terdahulu mengenai integrasi teknologi dalam pengajaran dan pembelajaran (PdP) sains. Kerangka ini menekankan bahawa integrasi AI dalam PdP sains sekolah menengah tidak berlaku secara linear, sebaliknya dipengaruhi oleh interaksi antara peluang yang ditawarkan oleh teknologi AI dan cabaran yang dihadapi dalam konteks pendidikan sebenar. Dalam kerangka ini, integrasi AI merujuk kepada penggunaan aplikasi dan sistem berasaskan AI bagi menyokong proses PdP sains, termasuk pembelajaran diperibadikan, analitik pembelajaran dan sokongan pentaksiran. Literatur menunjukkan bahawa AI menawarkan pelbagai peluang, antaranya meningkatkan penglibatan murid, menyokong pemahaman konsep sains yang abstrak serta membantu guru menyesuaikan pengajaran mengikut keperluan murid (Holmes et al., 2019; OECD, 2021). Peluang-peluang ini berpotensi meningkatkan kualiti PdP sains sekiranya disepadukan secara pedagogi dan beretika.

Namun demikian, kerangka ini turut mengiktiraf kewujudan cabaran integrasi AI, khususnya dari segi kesediaan dan kompetensi guru, isu etika dan privasi data murid serta kekangan infrastruktur dan sokongan sistem. Kajian terdahulu menunjukkan bahawa kekurangan latihan profesional dan kefahaman pedagogi berkaitan AI boleh menjejaskan pelaksanaan teknologi ini di bilik darjah (Zawacki-Richter et al., 2019; Kamarudin & Osman, 2022). Oleh itu, cabaran-cabaran ini perlu diteliti secara mendalam bagi memahami realiti integrasi AI dalam PdP sains. Elemen teras dalam kerangka konsep ini ialah perspektif guru sains, yang berfungsi sebagai lensa utama untuk memahami bagaimana peluang dan cabaran integrasi AI dialami dan ditafsirkan dalam konteks sebenar bilik darjah. Guru sains merupakan pelaksana utama PdP dan memainkan peranan penting dalam menentukan sama ada teknologi AI digunakan secara bermakna atau sekadar sebagai alat sokongan asas.

Pendekatan kualitatif melalui temu bual membolehkan kajian ini meneroka pengalaman, persepsi dan pertimbangan profesional guru terhadap penggunaan AI dalam PdP sains. Akhirnya, interaksi antara peluang, cabaran dan perspektif guru sains dijangka memberi implikasi terhadap kualiti dan keberkesanan PdP sains, serta keperluan sokongan dari segi latihan profesional, garis panduan pedagogi dan dasar pendidikan. Kerangka konsep ini menyediakan asas konseptual yang kukuh untuk meneliti integrasi AI dalam PdP sains secara holistik dan kontekstual, selari dengan keperluan pendidikan sekolah menengah di Malaysia. Rajah 1 menunjukkan kerangka konsep kajian yang mendasari penyelidikan ini. Kerangka tersebut menggambarkan hubungan antara integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam pengajaran dan pembelajaran sains dengan peluang dan cabaran yang wujud, yang diteliti melalui perspektif guru sains sebagai pelaksana utama PdP.

Rajah 1: Kerangka Konsep Kajian



3. Metod Kajian

Kajian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan reka bentuk kajian kes bagi meneroka peluang dan cabaran integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam pengajaran dan pembelajaran (PdP) sains sekolah menengah dari perspektif guru sains. Pendekatan kualitatif dipilih kerana kajian ini bertujuan memahami secara mendalam pengalaman, persepsi dan pandangan guru terhadap integrasi AI dalam konteks sebenar bilik darjah, yang bersifat kompleks, kontekstual dan bergantung kepada interpretasi individu (Creswell & Poth, 2018). Kajian ini tidak bertujuan menguji hipotesis atau membuat generalisasi statistik, sebaliknya berfokus kepada penerokaan fenomena dan pembinaan kefahaman yang lebih mendalam. Reka bentuk kajian kes adalah sesuai kerana integrasi AI dalam PdP sains merupakan fenomena pendidikan semasa yang masih berkembang dan dipengaruhi oleh pelbagai faktor seperti kesediaan guru, kemudahan infrastruktur, sokongan pentadbiran dan dasar pendidikan. Menurut Yin (2018), kajian kes membolehkan penyelidik meneliti sesuatu fenomena secara holistik dalam persekitaran sebenar, tanpa memisahkannya daripada konteks di mana fenomena tersebut berlaku. Justeru, reka bentuk ini adalah selari dengan objektif kajian yang ingin meneroka *bagaimana* dan *mengapa* peluang serta cabaran integrasi AI wujud dalam amalan PdP sains sekolah menengah.

Sampel kajian terdiri daripada guru sains sekolah menengah yang dipilih menggunakan kaedah pensampelan bertujuan (*purposive sampling*). Pemilihan peserta dibuat berdasarkan kriteria tertentu bagi memastikan data yang diperoleh adalah relevan dan bermakna. Kriteria pemilihan peserta adalah seperti berikut: (i) guru yang mengajar mata pelajaran sains di sekolah menengah; (ii) mempunyai pengalaman mengajar sekurang-kurangnya tiga tahun; dan (iii) pernah atau sedang menggunakan teknologi digital dalam PdP sains.

Seramai 6 hingga 10 orang guru sains dipilih sebagai peserta kajian. Saiz sampel ini adalah selaras dengan cadangan penyelidikan kualitatif yang menekankan prinsip ketepatan data, iaitu pengumpulan data diteruskan sehingga tiada tema baharu muncul daripada data yang dikumpulkan (Guest, Namey & Saldaña, 2012). Pemilihan guru sains sebagai peserta kajian adalah signifikan kerana mereka merupakan pelaksana utama PdP dan mempunyai peranan langsung dalam membuat keputusan pedagogi berkaitan penggunaan AI di bilik darjah.

Data kajian dikumpulkan melalui temu bual separa berstruktur, yang dipilih kerana kaedah ini membolehkan penyelidik memperoleh data yang mendalam, fleksibel dan berfokus, di samping memberi ruang kepada peserta untuk menghuraikan pengalaman serta pandangan mereka secara bebas (Merriam & Tisdell, 2016). Temu bual separa berstruktur sesuai digunakan dalam kajian penerokaan kerana ia membolehkan penyelidik menyesuaikan soalan susulan berdasarkan respons peserta, sekali gus memperkayakan data kajian.

Instrumen kajian ialah protokol temu bual separa berstruktur yang dibangunkan berdasarkan sorotan literatur berkaitan AI dalam pendidikan dan kerangka konsep kajian. Protokol ini mengandungi soalan terbuka yang memfokuskan kepada beberapa aspek utama, iaitu kefahaman guru terhadap konsep AI, pengalaman dan amalan penggunaan teknologi berkaitan AI dalam PdP sains, peluang yang ditawarkan oleh AI dalam meningkatkan PdP sains, cabaran yang dihadapi dari aspek pedagogi, teknikal dan etika, serta keperluan sokongan dan latihan profesional. Setiap sesi temu bual

dijalankan antara 30 hingga 45 minit, dirakam dengan kebenaran peserta dan ditranskripsikan sepenuhnya untuk tujuan analisis. Rakaman dan transkripsi temu bual membolehkan analisis data dijalankan secara sistematik dan teliti, selaras dengan prinsip penyelidikan kualitatif.

Data temu bual dianalisis menggunakan analisis tematik seperti yang dicadangkan oleh Braun dan Clarke (2006). Kaedah ini dipilih kerana ia membolehkan penyelidik mengenal pasti, menganalisis dan melaporkan pola atau tema dalam data kualitatif secara teratur dan fleksibel. Analisis tematik sesuai dengan objektif kajian yang bertujuan meneroka peluang dan cabaran integrasi AI berdasarkan pengalaman dan perspektif guru sains.

Proses analisis data melibatkan enam fasa utama, iaitu: (i) pembiasaan dengan data melalui pembacaan berulang transkrip temu bual; (ii) penjanaan kod awal berdasarkan unit makna yang signifikan; (iii) pengelompokan kod kepada tema awal; (iv) penyemakan dan pemurnian tema agar selari dengan data dan objektif kajian; (v) penamaan dan pentakrifan tema; dan (vi) penulisan laporan dapatan kajian. Analisis dijalankan secara induktif, membolehkan tema muncul secara semula jadi daripada data tanpa dipaksakan oleh kategori teori yang telah ditetapkan. Secara keseluruhannya, metodologi kajian ini direka bentuk bagi memastikan objektif kajian dapat dicapai secara sistematik dan bermakna. Pendekatan kualitatif kajian kes, digabungkan dengan temu bual separa berstruktur dan analisis tematik, membolehkan kajian ini memberikan gambaran yang mendalam dan kontekstual mengenai peluang dan cabaran integrasi AI dalam PdP sains sekolah menengah, selari dengan keperluan dan realiti pendidikan di Malaysia.

4. Dapatan Kajian

Bahagian ini membentangkan dapatan kajian berdasarkan analisis tematik terhadap temu bual separa berstruktur yang dijalankan bersama guru sains sekolah menengah. Dapatan kajian dipersembahkan secara sistematik mengikut dua persoalan kajian utama: iaitu:

- i. Apakah peluang integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam pengajaran dan pembelajaran (PdP) sains sekolah menengah dari perspektif guru sains? dan (ii) Apakah cabaran yang dihadapi oleh guru sains dalam mengintegrasikan AI dalam PdP sains?
- ii. Analisis data menghasilkan dua tema utama, iaitu peluang integrasi AI dalam PdP sains dan cabaran integrasi AI dalam PdP sains, yang masing-masing merangkumi beberapa subtema seperti yang dihuraikan berikut.

4.1. Tema 1: Peluang Integrasi AI dalam Pengajaran dan Pembelajaran Sains

4.1.1. Sokongan terhadap Pembelajaran Diperibadikan

Majoriti guru sains menyatakan bahawa AI berpotensi menyokong pembelajaran diperibadikan dengan membantu murid memahami konsep sains mengikut tahap kebolehan masing-masing. Guru berpandangan bahawa teknologi berasaskan AI, seperti aplikasi pembelajaran adaptif dan simulasi pintar, dapat memberikan latihan dan maklum balas yang disesuaikan dengan keperluan murid. Keadaan ini dianggap membantu murid yang lemah menguasai konsep asas, di samping mencabar murid berkeupayaan tinggi dengan aktiviti yang lebih kompleks.

Walaupun bagaimanapun, sebahagian guru menegaskan bahawa keberkesanan pembelajaran diperibadikan bergantung kepada kebolehan guru merancang PdP secara pedagogi, bukan semata-mata kepada kecanggihan teknologi AI. Tafsiran yang berbeza ini menunjukkan bahawa AI dilihat sebagai alat sokongan, bukannya pengganti peranan guru dalam menentukan hala tuju PdP.

"AI ni membantu saya bagi latihan ikut tahap murid. Murid lemah boleh ulang konsep asas, yang pandai pula dapat soalan lebih mencabar."

"Sistem yang ada AI boleh bagi maklum balas terus, jadi murid tahu kesilapan mereka dengan cepat tanpa tunggu cikgu semak."

"Kalau guru tak rancang betul, AI pun tak banyak membantu. Teknologi hanya alat sahaja."

4.1.2. Subtema 1.2: Peningkatan Penglibatan dan Minat Murid

Sebahagian besar peserta kajian melaporkan bahawa penggunaan teknologi berkaitan AI dapat meningkatkan penglibatan dan minat murid terhadap pembelajaran sains, khususnya bagi topik yang bersifat abstrak seperti sistem badan manusia atau fenomena fizik. Elemen visual, simulasi dan interaksi yang disokong oleh teknologi AI membantu murid memahami konsep dengan lebih konkrit.

Namun demikian, terdapat juga pandangan yang lebih berhati-hati daripada beberapa guru yang menyatakan bahawa keterujaan murid terhadap teknologi mungkin bersifat sementara sekiranya AI tidak diintegrasikan secara bermakna dalam PdP. Dapatan ini menunjukkan kewujudan tafsiran yang saling melengkapi dan bertentangan, yang menegaskan kepentingan peranan pedagogi guru dalam memanfaatkan AI secara berkesan.

"Bila guna simulasi atau visual AI, murid lebih faham terutama topik yang susah nak bayang seperti sistem badan manusia."

"Murid nampak lebih seronok dan aktif bila ada elemen interaktif berbanding kaedah biasa."

"Pada awalnya murid memang teruja, tapi kalau tak digunakan secara bermakna, minat tu tak kekal lama."

4.1.3. Subtema 1.3: Sokongan kepada Peranan Guru

Sebilangan guru sains berpandangan bahawa AI berpotensi menyokong peranan mereka, khususnya dari segi penjimatan masa dan sokongan pentaksiran. Analitik pembelajaran dan maklum balas automatik dilihat membantu guru mengenal pasti kelemahan murid dengan lebih cepat. Namun, terdapat kebimbangan dalam kalangan segelintir guru bahawa kebergantungan berlebihan terhadap AI boleh menjejaskan autonomi profesional guru sekiranya tidak dikawal dengan jelas.

"AI bantu saya jimat masa, terutama untuk semak latihan dan kenal pasti murid yang lemah."

"Dengan data yang ada, saya boleh nampak dengan jelas kelemahan murid dan rancang intervensi."

"Kalau terlalu bergantung pada AI, mungkin peranan guru akan terjejas."

4.2. Tema 2: Cabaran Integrasi AI dalam Pengajaran dan Pembelajaran Sains

4.2.1. Subtema 2.1: Kesediaan dan Kompetensi Guru

Cabaran paling dominan yang dikenal pasti ialah tahap kesediaan dan kompetensi guru dalam mengintegrasikan AI dalam PdP sains. Kebanyakan guru menyatakan bahawa mereka mempunyai kefahaman terhad tentang konsep AI dan aplikasinya dalam konteks PdP, menyebabkan penggunaan teknologi terhad kepada fungsi asas sahaja. Kekurangan latihan khusus berkaitan pedagogi AI dikenal pasti sebagai faktor utama yang menjejaskan keyakinan guru. Walaupun begitu, terdapat beberapa guru yang menunjukkan sikap lebih positif dan bersedia untuk meneroka penggunaan AI secara sendiri. Perbezaan ini mencerminkan variasi pengalaman dan latar belakang guru, sekali gus menunjukkan bahawa kesediaan guru bukanlah bersifat homogen.

"Saya sendiri masih kurang faham tentang AI, jadi agak sukar nak guna dalam PdP."

"Kami perlukan latihan khusus, bukan sekadar pendedahan umum tentang teknologi."

"Saya cuba belajar sendiri dan explore aplikasi AI yang boleh digunakan dalam kelas."

4.2.2. Subtema 2.2: Isu Infrastruktur dan Sokongan Sistem

Isu infrastruktur dan sokongan teknikal turut dikenal pasti sebagai cabaran utama. Guru melaporkan kekangan seperti akses internet yang tidak stabil, kekurangan peranti dan sokongan teknikal yang terhad. Kekangan ini menjejaskan keupayaan guru untuk melaksanakan PdP berasaskan AI secara konsisten.

"Internet di sekolah kadang-kadang tak stabil, jadi susah nak guna aplikasi AI secara konsisten."

"Peranti pun terhad, tak semua murid boleh akses teknologi pada masa yang sama."

4.2.3. Subtema 2.3: Kebimbangan terhadap Isu Etika dan Privasi

Sebahagian guru menyuarakkan kebimbangan terhadap isu etika dan privasi data murid, khususnya apabila melibatkan penggunaan aplikasi pihak ketiga berasaskan AI. Kebimbangan ini menyebabkan sesetengah guru bersikap lebih berhati-hati atau memilih untuk tidak menggunakan teknologi AI secara menyeluruh dalam PdP sains.

"Saya risau tentang keselamatan data murid bila guna aplikasi luar yang berasaskan AI."

"Tak semua aplikasi jelas bagaimana data digunakan, jadi saya lebih berhati-hati."

4.3. Kesahan, Kebolehpercayaan dan Bias Penyelidik

Bagi memastikan kesahihan dapatan kajian, beberapa prosedur kesahihan telah dilaksanakan. Semakan peserta (member checking) digunakan bagi mengesahkan ketepatan interpretasi penyelidik terhadap pandangan guru. Selain itu, perbandingan dapatan antara peserta membantu mengenal pasti persamaan dan perbezaan pandangan, seterusnya meningkatkan kebolehpercayaan analisis. Penyelidik juga mengakui potensi bias penyelidik, khususnya dalam mentafsir data berdasarkan latar belakang profesional dalam bidang pendidikan. Bagi meminimumkan bias, proses analisis data dijalankan secara sistematik dan disokong oleh petikan data temu bual yang relevan. Pengakuan bias ini adalah penting bagi memastikan ketelusan dan kredibiliti kajian kualitatif.

5. Perbincangan

Perbincangan ini bertujuan mengaitkan dapatan kajian dengan persoalan kajian, menilai keserasian atau pertentangan dengan kajian terdahulu, serta menekankan justifikasi di sebalik tafsiran yang diperolehi. Kajian ini menumpukan kepada dua persoalan utama: (i) peluang integrasi AI dalam PdP sains sekolah menengah daripada perspektif guru sains, dan (ii) cabaran yang dihadapi guru sains dalam mengintegrasikan AI dalam PdP.

Dapatan kajian menunjukkan bahawa guru sains mengenal pasti beberapa peluang utama integrasi AI, termasuk pembelajaran diperibadikan, peningkatan penglibatan murid, dan sokongan pedagogi guru. Dapatan ini konsisten dengan kajian terdahulu yang menekankan potensi AI dalam menyediakan pengalaman pembelajaran yang lebih adaptif dan menarik (Holmes, Bialik & Fadel, 2019; Zawacki-Richter et al., 2019). Misalnya, guru menyatakan bahawa AI membolehkan murid menerima maklum balas segera berdasarkan tahap pemahaman mereka, seterusnya meningkatkan penguasaan konsep sains yang kompleks. Hal ini sejajar dengan konsep *adaptive learning* yang diperkenalkan oleh OECD (2021), di mana sistem AI menyesuaikan kandungan pembelajaran untuk memenuhi keperluan individu murid. Selain itu, AI dilihat meningkatkan penglibatan murid dalam PdP sains melalui simulasi interaktif dan pembelajaran berasaskan permainan. Dapatan ini bersesuaian dengan kajian Zawacki-Richter et al. (2019) yang melaporkan bahawa penggunaan teknologi berasaskan AI meningkatkan motivasi dan minat pelajar terhadap pembelajaran. Namun, terdapat tafsiran yang sedikit berbeza di kalangan guru; sesetengah guru menegaskan bahawa teknologi sahaja tidak mencukupi untuk memastikan keberkesanan PdP. Tafsiran ini menekankan bahawa AI berfungsi sebagai alat sokongan pedagogi dan bukan pengganti guru, sejajar dengan prinsip *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yang menekankan keseimbangan antara pedagogi, kandungan dan teknologi (Mishra & Koehler, 2006).

Dapatan kajian juga menunjukkan bahawa AI menyokong peranan guru dalam pentaksiran dan perancangan PdP melalui analitik data yang membolehkan guru mengenal pasti kelemahan murid dengan lebih cepat. Hal ini konsisten dengan kajian OECD (2021), yang menekankan penggunaan data analitik untuk meningkatkan kualiti pengajaran. Dengan demikian, peluang AI yang dikenal pasti dalam kajian ini bukan

sahaja menyokong pembelajaran murid, tetapi juga memperkukuh keupayaan guru untuk melaksanakan PdP yang berkesan.

Walaupun guru menyedari peluang AI, dapatan kajian juga menekankan cabaran signifikan, termasuk kesediaan guru, infrastruktur, dan isu etika serta privasi. Kekurangan kompetensi guru dalam menggunakan AI menimbulkan kebimbangan bahawa teknologi mungkin tidak dioptimumkan dalam PdP. Hal ini konsisten dengan dapatan Kamarudin & Osman (2022), yang menunjukkan bahawa tahap pengetahuan dan latihan guru merupakan faktor penentu kejayaan integrasi teknologi digital di sekolah. Kajian ini mengesahkan bahawa walaupun guru bersedia mengadaptasi teknologi, kurangnya latihan profesional berkaitan AI mengekang potensi sepenuhnya penggunaan teknologi tersebut. Cabaran kedua ialah isu infrastruktur dan sokongan teknikal. Guru melaporkan kekangan seperti capaian internet tidak stabil dan kekurangan peranti, yang menjejaskan pelaksanaan PdP berasaskan AI. Keputusan ini seiring dengan dapatan Holmes et al. (2019), yang menekankan bahawa keberkesanan AI dalam pendidikan sangat bergantung kepada kesediaan sistem dan infrastruktur teknologi. Ini menunjukkan bahawa selain latihan guru, pelaburan dalam infrastruktur digital adalah kritikal bagi memastikan integrasi AI dapat dilakukan secara konsisten.

Selain itu, isu etika dan privasi data murid turut dikenalpasti sebagai cabaran. Beberapa guru menunjukkan kebimbangan terhadap keselamatan data apabila menggunakan aplikasi pihak ketiga berasaskan AI. Hal ini sejajar dengan kajian Nor et al. (2023) yang menekankan perlunya garis panduan etika dan keselamatan data dalam penggunaan AI di sekolah. Walaupun ia menimbulkan cabaran, pengakuan ini menunjukkan tahap kesedaran guru terhadap aspek kritikal yang perlu diurus dengan teliti untuk memastikan PdP yang selamat dan efektif.

Analisis dapatan menunjukkan keseragaman dan perbezaan tafsiran dalam kalangan guru. Keseragaman dilihat pada pengakuan bahawa AI berpotensi meningkatkan keberkesanan PdP dan minat murid, manakala perbezaan timbul daripada tahap kesediaan guru dan konteks sekolah masing-masing. Perbezaan tafsiran ini wajar kerana pengalaman dan latar belakang guru, tahap pendedahan kepada teknologi, serta sokongan pihak sekolah berbeza-beza. Situasi ini menekankan kepentingan analisis kontekstual dalam memahami integrasi AI, di mana faktor manusia, teknikal dan organisasi saling mempengaruhi hasil PdP.

Secara keseluruhan, dapatan kajian memberikan justifikasi yang kukuh bahawa integrasi AI dalam PdP sains menawarkan peluang yang signifikan tetapi memerlukan perhatian strategik terhadap cabaran yang dikenalpasti. Tafsiran ini konsisten dengan teori dan kajian terdahulu, namun kajian ini menambah nilai dengan menekankan konteks tempatan Malaysia, yang menunjukkan bahawa guru sains berperanan sebagai agen utama dalam memastikan AI diintegrasikan secara efektif. Kajian ini juga menunjukkan bahawa AI bukanlah alat ajaib; keberkesanannya bergantung kepada kompetensi guru, infrastruktur, dan garis panduan etika. Dapatan kajian ini selari dengan aspirasi Dasar Pendidikan Digital 2023 yang menekankan pemeraksanaan teknologi pintar dalam bilik darjah (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2023).

6. Kesimpulan

Berdasarkan dapatan dan perbincangan kajian, dapat disimpulkan bahawa integrasi kecerdasan buatan (AI) dalam pengajaran dan pembelajaran (PdP) sains sekolah

menengah memberikan peluang yang signifikan serta menimbulkan cabaran yang memerlukan strategi khusus. Dari perspektif guru sains, AI membolehkan pembelajaran diperibadikan, meningkatkan penglibatan murid melalui simulasi interaktif dan pembelajaran berasaskan permainan, serta menyokong guru dalam pentaksiran dan perancangan PdP melalui analitik data. Hal ini sejajar dengan prinsip *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) yang menekankan keseimbangan antara pedagogi, kandungan dan teknologi (Mishra & Koehler, 2006).

Dapatan kajian juga menunjukkan bahawa AI bukan sekadar alat teknologi, tetapi alat sokongan pedagogi yang memperkukuh peranan guru. Guru yang berpengalaman menekankan bahawa keberkesanan AI bergantung kepada kemampuan guru mengintegrasikan teknologi secara bijak dalam PdP. Tafsiran ini konsisten dengan Holmes, Bialik dan Fadel (2019) serta Zawacki-Richter et al. (2019), yang menekankan bahawa AI meningkatkan keberkesanan PdP apabila diimbangi dengan strategi pengajaran yang berkesan.

Kajian ini mempunyai beberapa implikasi praktikal dan teoretikal. Implikasi praktikal, latihan profesional guru iaitu sekolah dan pihak berkuasa pendidikan perlu menyediakan program latihan berfokus pada penggunaan AI, termasuk analitik data, pedagogi digital, dan integrasi teknologi dalam PdP. Selain, peningkatan infrastruktur pihak sekolah perlu memastikan capaian internet stabil, peranti mencukupi, serta sokongan teknikal bagi membolehkan penggunaan AI secara optimum. Seterusnya, etika dan privasi data. Garis panduan yang jelas berkaitan keselamatan data murid dan etika penggunaan AI perlu disediakan bagi mengurangkan risiko penyalahgunaan maklumat.

Tambahan implikasi teoretikal, kajian ini menyumbang kepada literatur tempatan dengan menekankan pengalaman guru sains sebagai pelaksana utama PdP berasaskan AI. Kajian ini juga menekankan kepentingan konteks sekolah Malaysia dalam memahami keberkesanan integrasi teknologi pendidikan, melengkapkan kajian terdahulu yang lebih bersifat teoretikal atau berasaskan konteks antarabangsa (Nor, Rahman & Ahmad, 2023). Seterusnya limitasi kajian, walaupun kajian ini memberikan pandangan mendalam, terdapat beberapa limitasi seperti saiz sampel yang kecil (8 guru) dan pengambilan secara *purposive* menyebabkan dapatan mungkin tidak boleh digeneralisasi ke semua sekolah menengah di Malaysia. Selain itu, fokus kajian hanya kepada guru sains maka pandangan murid dan pentadbir tidak diambil kira, walaupun mereka merupakan pihak berkepentingan penting dalam PdP. Tambahan, kajian ini menumpukan kepada sekolah menengah di kawasan tertentu sahaja, yang mungkin tidak mewakili konteks seluruh negara, terutamanya sekolah luar bandar atau yang kurang berinfrastruktur.

Cadangan kajian lanjutan bagi memperluas pemahaman tentang integrasi AI dan mengatasi kekangan yang dikenal pasti, cadangan untuk kajian lanjutan termasuk menggunakan pendekatan campuran (*mixed-methods*) bagi menilai kesan AI terhadap prestasi dan penglibatan murid secara kuantitatif, berserta analisis kualitatif pengalaman guru. Selain itu, memperluas sampel kajian ke pelbagai sekolah menengah di seluruh Malaysia, termasuk sekolah luar bandar dan sekolah berasaskan aliran sains atau teknik, bagi meningkatkan generalisasi dapatan. Seterusnya, penyertaan pandangan murid dan pentadbir untuk memahami persepsi pelbagai pihak berkepentingan terhadap keberkesanan AI dalam PdP. Tambahan, menjalankan kajian longitudinal untuk menilai kesan penggunaan AI terhadap pencapaian akademik, motivasi, dan pembangunan kompetensi guru dari masa ke masa.

Secara keseluruhan, kajian ini menegaskan bahawa AI menawarkan peluang transformasi dalam PdP sains, tetapi keberkesanan integrasinya bergantung kepada keseimbangan antara teknologi, pedagogi guru, dan sokongan sistematik. Penekanan terhadap latihan guru, pembangunan infrastruktur, dan garis panduan etika adalah langkah kritikal untuk memastikan AI menjadi alat yang benar-benar meningkatkan kualiti pengajaran dan pembelajaran di sekolah menengah Malaysia.

Kelulusan Etika dan Persetujuan untuk Menyertai Kajian (*Ethics Approval and Consent to Participate*)

Kajian ini mematuhi garis panduan etika penyelidikan yang melibatkan subjek manusia. Persetujuan termaklum telah diperoleh daripada semua peserta sebelum pengumpulan data dijalankan, dan kerahsiaan maklumat peserta dijamin.

Penghargaan (*Acknowledgement*)

Penulis merakamkan penghargaan kepada semua guru sains yang telah memberikan kerjasama dalam menjayakan kajian ini.

Kewangan (*Funding*)

Kajian ini tidak menerima sebarang tajaan atau bantuan kewangan daripada mana-mana pihak.

Konflik Kepentingan (*Conflict of Interest*)

Penulis melaporkan tiada sebarang konflik kepentingan berkenaan penyelidikan, pengarang atau penerbitan kajian ini.

Rujukan

- Bond, M., Bedenlier, S., Marín, V. I., & Händel, M. (2021). Emergency remote teaching in higher education: Mapping the first global online semester. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(50), 1–24. <https://doi.org/10.1186/s41239-021-00282-x>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp0630a>
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>
- Hamzah, M. I., Juraime, F., & Mansor, A. N. (2021). Kesiediaan guru terhadap penggunaan teknologi digital dalam pengajaran dan pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Malaysia*, 46(2), 45–56.
- Ismail, S. N., & Abd Rahman, N. (2022). Digital readiness among Malaysian teachers in implementing AI-based educational technologies. *Malaysian Journal of Learning and Instruction*, 19(2), 145–168. <https://doi.org/10.32890/mjli2022.19.2.6>
- Kamarudin, N., & Osman, K. (2022). Amalan penggunaan teknologi digital dalam kalangan guru sekolah menengah di Malaysia. *Asian Journal of University Education*, 18(3), 589–602. <https://doi.org/10.24191/ajue.v18i3.18994>

- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2019). Immersive virtual reality and learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 31(4), 1019–1046. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09473-5>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Nor, H. M., Rahman, A., & Ahmad, N. (2023). Persepsi guru terhadap integrasi AI dalam PdP sains sekolah menengah di Malaysia. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, 12(1), 23–38.
- Rahman, S. A., & Daud, M. Y. (2024). Artificial intelligence adoption in Malaysian secondary schools. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 9(1), 1–15. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v9i1>.
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of AI in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(39). <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zhai, X., et al. (2021). Artificial intelligence in education (2010–2020). *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100017. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100017>