



INTERNATIONAL JOURNAL OF
EDUCATION, PSYCHOLOGY
AND COUNSELLING
(IJEPC)

<https://gaexcellence.com/ijepe>



KEBERKESANAN MODEL 4I-PBL (*INSPIRE, INQUIRE, INNOVATE, IMPLEMENT*) DALAM MENINGKATKAN PENGALAMAN PEMBELAJARAN STEM BAGI PELAJAR PINTAR DAN BERBAKAT

THE EFFECTIVENESS OF THE 4I-PBL MODEL (INSPIRE, INQUIRE, INNOVATE, IMPLEMENT) IN ENHANCING STEM LEARNING EXPERIENCES AMONG GIFTED AND TALENTED STUDENTS

Siti Aishah Hassan^{*1}, Afifah Mohamad Radzi², Isaac Sharvindran Seigar³, Ahmad Ameer Aizat Ahmad Zamri⁴, Ahmad Iqmal Hakim Zaluzi⁵, Che Suriani Kiflee⁶, Norfiza Apfandi⁷

¹ Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 s.aishah@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0000-0003-1152-0418>

² Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 afifah@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0000-0003-1001-4919>

³ Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 isaac.sharvindran@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0009-0001-0223-6135>

⁴ Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 ameer.aizat@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0009-0007-2999-8301>

⁵ Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 iqmalhakim@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0009-0000-2488-8997>

⁶ Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 suees@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0009-0002-6332-1701>

⁷ Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

 norfizaza@ukm.edu.my

 <https://orcid.org/0000-0001-7407-4211>

*Corresponding Author

Article Info:**Article history:**

Received date: 19.01.2026

Revised date: 29.01.2026

Accepted date: 10.02.2026

Published date: 15.03.2026

To cite this document:

Hassan, S. A., Radzi, A. M., Seigar, I. S., Ahmad Zamri, A. A. A., Zaluzy, A. I. H., Kiflee, C. S., & Apfandi, N. (2026). Keberkesanan Model 4i-Pbl (*Inspire, Inquire, Innovate, Implement*) Dalam Meningkatkan Pengalaman Pembelajaran Stem Bagi Pelajar Pintar Dan Berbakat. *International Journal of Education, Psychology and Counselling*, 11(62), 916-933.

DOI: 10.35631/IJEPC.1162053**Abstrak:**

Kajian ini bertujuan menilai keberkesanan Model 4I-PBL (*Inspire, Inquire, Innovate, Implement*) dalam memperkaya pengalaman pembelajaran STEM dalam kalangan pelajar pintar dan berbakat. Model ini mengintegrasikan pembelajaran berasaskan projek (PBL), teknologi digital dan kolaborasi dengan pakar industri sebagai alternatif kepada pedagogi konvensional yang kurang menekankan penerokaan aktif dan aplikasi dunia sebenar. Kajian melibatkan 77 orang pelajar aliran Digital Inovator di Kolej PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia ini menggunakan pendekatan kaedah campuran merangkumi data kuantitatif dan kualitatif. Analisis statistik deskriptif menunjukkan tahap kepuasan dan motivasi pelajar yang tinggi, dengan nilai min antara 4.10 hingga 4.50 serta sisihan piawai yang rendah. Analisis korelasi Pearson pula mendapati hubungan positif yang signifikan antara kepuasan dan motivasi pelajar, serta antara konstruk afektif ini dengan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi. Dapatan ini menunjukkan bahawa fasa berperingkat dalam Model 4I-PBL berfungsi secara saling berkaitan dalam menyokong pembelajaran bermakna dan berorientasikan aplikasi sebenar. Dapatan kualitatif turut mengukuhkan hasil ini dengan menunjukkan peningkatan kemahiran teknikal, pemikiran kreatif dan aplikasi pengetahuan STEM. Secara keseluruhan, kajian ini membuktikan bahawa Model 4I-PBL merupakan strategi pedagogi STEM yang holistik dan berimpak tinggi untuk pembangunan potensi pelajar pintar dan berbakat.

Kata Kunci:

Inovasi Digital, Model 4I-PBL, Pembelajaran Berasaskan Projek (PBL), Pendidikan Pintar Dan Berbakat, STEM

Abstract:

This study aims to evaluate the effectiveness of the 4I-PBL model (*Inspire, Inquire, Innovate, Implement*) in enriching STEM learning experiences among gifted and talented students. The model integrates project-based learning (PBL), digital technologies, and collaboration with industry experts as an alternative to conventional pedagogical approaches that place limited emphasis on active exploration and real-world application. The study involved 77 students from the Digital Innovator stream at Kolej PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia, and employed a mixed-methods approach incorporating both quantitative and qualitative data. Descriptive statistical analysis revealed high levels of student satisfaction and motivation, with mean scores ranging from 4.10 to 4.50 and low standard deviations. Pearson correlation analysis further identified significant positive relationships between student satisfaction and motivation, as well as between these affective constructs and the development of problem-solving, creativity, and innovation skills. These findings indicate that the progressive phases of the 4I-PBL model operate in an interconnected manner to support meaningful, application-oriented learning. Qualitative findings reinforced the quantitative results, highlighting improvements in technical skills, creative thinking, and the application of STEM knowledge in authentic contexts. Overall, the study demonstrates that the 4I-PBL model is a holistic and high-impact STEM pedagogical strategy for nurturing the potential of gifted and talented students.



© The authors (2026). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits non-commercial re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. For commercial re-use, please contact ijepe@gaexcellence.com

Keyword:

4I-PBL Model, Digital Innovation; Gifted and Talented Education, Project-Based Learning (PBL), STEM Education

Pengenalan

Dalam landskap Revolusi Industri 4.0 dan ekonomi berasaskan pengetahuan, pembangunan modal insan STEM yang inovatif, adaptif dan berkemahiran tinggi menjadi keutamaan strategik negara. Pelajar pintar dan berbakat merupakan aset kritikal dalam ekosistem ini kerana potensi kognitif dan kreativiti luar biasa yang mereka miliki berupaya menjana inovasi berimpak tinggi. Namun demikian, potensi tersebut hanya dapat direalisasikan sepenuhnya melalui pengalaman pembelajaran yang mencabar, autentik dan bermakna, khususnya yang merangsang pemikiran aras tinggi serta aplikasi dunia sebenar (Sundari, 2023).

Walaupun bagaimanapun, amalan pedagogi STEM yang masih dominan berorientasikan pengajaran langsung dan berpusatkan guru didapati kurang sejajar dengan keperluan pembelajaran pelajar pintar dan berbakat. Pendekatan ini cenderung menghadkan peluang pelajar untuk meneroka idea secara mendalam, menyelesaikan masalah kompleks dan membina inovasi secara kreatif. Dalam konteks Malaysia, penurunan minat dan penyertaan dalam bidang STEM, termasuk dalam kalangan pelajar berkeupayaan tinggi (KPM, 2023), mencerminkan wujudnya jurang ketara antara reka bentuk pengajaran sedia ada dengan keperluan kognitif, afektif dan kreatif golongan ini.

Seiring dengan itu, kajian antarabangsa menegaskan bahawa pelajar pintar dan berbakat memerlukan pengalaman pembelajaran yang mendalam, transdisiplin dan berasaskan penyelesaian masalah dunia sebenar bagi merangsang pemikiran aras tinggi, kreativiti dan inovasi (Renzulli, 2021). Justeru, pendekatan pedagogi yang mengintegrasikan inkuiri, reka bentuk, teknologi dan inovasi dilihat semakin signifikan dalam memperkukuh pendidikan STEM yang relevan dengan cabaran semasa.

Sehubungan itu, seperti yang digambarkan dalam Rajah 1, Model 4I-PBL (Inspire, Inquire, Innovate, Implement) diperkenalkan sebagai satu kerangka pedagogi berasaskan Project-Based Learning yang diperkukuh melalui integrasi teknologi digital serta kolaborasi dengan industri. Model ini dibangunkan secara sistematik untuk mencetuskan inspirasi awal, membina inkuiri yang bermakna, menggalakkan pemikiran inovatif dan membolehkan pelajar melaksanakan penyelesaian secara autentik dalam konteks dunia sebenar. Berbanding pendekatan PBL konvensional, Model 4I-PBL menekankan kesinambungan proses kognitif, reka bentuk dan refleksi sendiri, sekali gus lebih sejajar dengan keperluan pembelajaran pelajar pintar dan berbakat.

Walaupun kerangka ini berpotensi tinggi, bukti empirikal yang menyokong keberkesanan Model 4I-PBL dalam konteks pendidikan pelajar pintar dan berbakat di Malaysia masih terhad. Kekurangan kajian yang menilai impak model ini terhadap aspek kepuasan pembelajaran,

motivasi serta pembangunan kemahiran teknikal dan inovatif menimbulkan keperluan untuk penyelidikan yang lebih sistematik.



Rajah 1: Model 4I -Project Based Learning

Model ini bukan sekadar membolehkan pelajar menghasilkan projek inovatif, malah turut memperkukuh integrasi teknologi digital serta penglibatan pakar industri melalui pengalaman pembelajaran yang bersifat kontekstual dan autentik. Sehubungan itu, kajian ini dijalankan untuk menilai keberkesanan pelaksanaan Model 4I-PBL dalam konteks pembelajaran STEM pelajar pintar dan berbakat di Kolej PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia. Secara khusus, kajian ini bertujuan untuk:

- a) menentukan tahap kepuasan dan motivasi pelajar terhadap pelaksanaan Model 4I-PBL;
- b) menilai perkembangan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi pelajar melalui pengalaman pembelajaran berasaskan 4I-PBL; dan
- c) menganalisis hubungan antara kepuasan pelajar, motivasi pembelajaran dan pembangunan kemahiran kognitif aras tinggi dalam pelaksanaan Model 4I-PBL.

Objektif kajian ini diharap dapat menyumbang kepada pemahaman empirikal tentang peranan model pedagogi berfasa dalam menyokong pembelajaran STEM yang bermakna serta menyediakan asas kukuh bagi peluasan pelaksanaan Model 4I-PBL dalam pendidikan pelajar pintar dan berbakat.

Kajian Literatur

Kajian literatur berdasarkan 4I (*inspire, inquire, innovate, implement*) menurut Teori *Situated Learning* (Lave & Wenger, 1991) adalah pembelajaran bermakna bermula apabila pelajar melihat kaitan antara ilmu dan realiti. Elemen seperti pendedahan kepada isu dunia sebenar, pakar industri atau fenomena semasa sering digunakan dalam fasa ini. Kajian menunjukkan bahawa rangsangan awal yang autentik meningkatkan penglibatan kognitif pelajar pintar. (Renzulli, 2016). Melalui aktiviti penyiasatan berstruktur (*inspire*), pelajar dapat menghubungkan pengetahuan sedia ada dengan maklumat baharu, sekali gus mengurangkan salah konsep dan meningkatkan pemahaman mendalam terhadap prinsip saintifik (Hmelo-Silver et al., 2007; Minner, Levy & Century, 2010). Pendekatan ini membolehkan pelajar

memahami *why* dan *how*, bukan sekadar *what*, sejajar dengan keperluan pembelajaran aras tinggi.

Selain itu, *inquire* turut menyumbang secara signifikan kepada pembangunan kemahiran metakognitif, termasuk perancangan, pemantauan dan penilaian sendiri terhadap proses pembelajaran. Apabila pelajar terlibat dalam aktiviti penyoalan dan penyelesaian masalah terbuka, mereka didorong untuk merefleksi strategi pembelajaran, menilai keberkesanan pendekatan yang digunakan, serta menyesuaikan tindakan berdasarkan maklum balas yang diperoleh. (Schraw, Crippen & Hartley, 2006). Teori *Creative Problem Solving* (CPS) menekankan keupayaan individu untuk menjana idea baharu secara sistematik melalui gabungan pemikiran divergen dan konvergen dalam proses penyelesaian masalah kompleks menerusi elemen *innovate*.

Menurut Osborn dan Parnes, CPS melibatkan beberapa peringkat utama seperti memahami masalah, menjana idea, membangunkan penyelesaian dan melaksanakan tindakan. Pendekatan ini memberi ruang kepada pelajar untuk meneroka pelbagai kemungkinan penyelesaian sebelum memilih idea yang paling berkesan dan praktikal, sekali gus menyokong perkembangan kreativiti dan inovasi dalam pembelajaran. Literatur menunjukkan bahawa penglibatan pelajar dalam pengalaman autentik, diikuti dengan refleksi kritikal, membantu memperkukuh pemahaman konseptual dan pemindahan pengetahuan ke situasi baharu. Melalui pelaksanaan sebenar tugas atau projek, pelajar berpeluang menguji idea, mengenal pasti kekuatan dan kelemahan penyelesaian yang dicadangkan, serta menilai kesan tindakan mereka terhadap konteks sebenar seperti dalam elemen *implement*. (Kolb, 1984; Moon, 2004). Proses ini menggalakkan pembelajaran mendalam (*deep learning*) berbanding pembelajaran permukaan.

Tinjauan literatur menunjukkan bahawa PBL dapat meningkatkan penglibatan pelajar, sikap afektif, dan kemahiran pemikiran aras tinggi dalam mata pelajaran STEM. Kajian kuantitatif dan meta analisis menunjukkan peningkatan pencapaian akademik dan kemahiran pemikiran kritis berbanding pedagogi tradisional apabila PBL dilaksanakan dengan elemen reka bentuk projek yang berkualiti. PBL juga sering dikaitkan dengan peningkatan kreativiti serta kebolehan aplikasi konsep ke dalam situasi dunia sebenar merupakan ciri penting dalam pendidikan STEM abad ke-21. PBL memberi peluang kepada pelajar melakukan kerja autentik (*authentic tasks*) yang memerlukan integrasi pengetahuan dari sains, matematik, teknologi dan kejuruteraan. Dalam konteks STEM, keberkesanan PBL bergantung kepada reka bentuk tugas, sumber (penggunaan teknologi), dan sokongan guru atau mentor.

Model pembelajaran berasaskan projek berkesan kerana ia berpusatkan penyelesaian masalah melalui aktiviti projek yang memerlukan pelajar untuk menyiasat, menganalisis, dan mengaplikasikan konsep dalam konteks dunia sebenar (Andriyani et al., 2025). Integrasi pendekatan STEM ke dalam pembelajaran berasaskan projek membolehkan pelajar mengaitkan pelbagai disiplin ilmu untuk menghasilkan penyelesaian inovatif terhadap isu-isu kompleks (Lestari et al., 2023) (Wicaksono, 2020). Oleh itu, penggunaan model Project-Based Learning berintegrasi STEM seperti 4I-PBL dapat melengkapi pelajar dengan kemahiran abad ke-21 yang relevan dengan tuntutan industri dan pembangunan negara (Effendi & Yoto, 2024) (AlAli, 2024). Pelajar juga berpeluang untuk membangunkan kemahiran 4C (kolaborasi, komunikasi, pemikiran kritis, dan kreativiti) yang penting bagi menghadapi cabaran abad ke-21 (Haritzah et al., 2024) (Andriyani et al., 2025). Pendekatan STEM ini bertujuan untuk membentuk pelajar menjadi pencetus, inovator, penyelesaian masalah, pemikir yang logik dan

individu yang yakin pada diri dan penting untuk menghadapi isu-isu global (Hakiki et al., 2022). Pengintegrasian STEM dengan pembelajaran berbasis projek ini juga dapat mengembangkan kreativiti dan inovasi yang kritikal agar generasi masa depan dapat bersaing secara global bukan hanya sekadar teknik malah melalui intelektual (Sutrisno & Syukur, 2023) (Heryanti, 2020). Penggunaan model *Project Based Learning* yang diintegrasikan dengan pendekatan STEM telah terbukti meningkatkan pembangunan diri, motivasi dan ketekunan pelajar di samping memperbaiki kemahiran menyelesaikan masalah secara sistematik dan kontekstual (Andriyani et al., 2025).

Kaedah pengajaran konvensional yang berpusatkan guru dan berorientasikan peperiksaan telah membataskan peluang pelajar untuk meneroka ilmu secara lebih aktif, terlibat dalam pembelajaran autentik dan mengaplikasikan pengetahuan kepada situasi dunia sebenar. Kajian lepas menunjukkan bahawa pelajar berbakat memerlukan pendekatan pembelajaran yang lebih mencabar, fleksibel serta mengintegrasikan teknologi dan kerjasama dengan komuniti luar bilik darjah termasuk pakar industri.

Sehubungan itu, pendekatan Pembelajaran Berasaskan Projek (*Project-Based Learning*, PBL) telah dikenalpasti sebagai strategi pengajaran yang berkesan dalam memperkukuhkan pembelajaran bermakna, meningkatkan keterlibatan pelajar serta membina kemahiran abad ke-21. Model PBL telah dikenal pasti sebagai satu pendekatan efektif dalam membangunkan kemahiran abad ke-21 seperti pemikiran kritikal, kolaborasi dan kreativiti dalam kalangan pelajar (Mona & Rachmawati, 2023). Kajian Smith et al, (2022) turut menegaskan bahawa pendekatan PBL memperkukuh pemahaman konsep dan meningkatkan motivasi pelajar. (Smith et al., 2022) Walau bagaimanapun, dalam konteks pelajar pintar dan berbakat, keperluan pembelajaran mereka lebih kompleks dan memerlukan intervensi yang bukan sahaja menekankan kandungan tinggi tetapi juga keterlibatan dengan teknologi canggih dan kerjasama dunia sebenar (Ziadat & Sakarneh, 2021; Zimlich, 2017)

Pendekatan 4I–*Project-Based Learning* (4I–PBL) merupakan satu kerangka pedagogi bersepadu yang menggabungkan prinsip konstruktivisme, *Inquiry-Based Learning*, *Creative Problem Solving*, *Design-Based Learning*, dan *Experiential Learning* dalam satu aliran pembelajaran yang sistematik dan bermakna. Model ini merangkumi empat fasa utama iaitu *Inspire*, *Inquire*, *Innovate* dan *Implement*, yang direka bentuk untuk menyokong pembelajaran berasaskan masalah dunia sebenar serta pembangunan kemahiran abad ke-21.

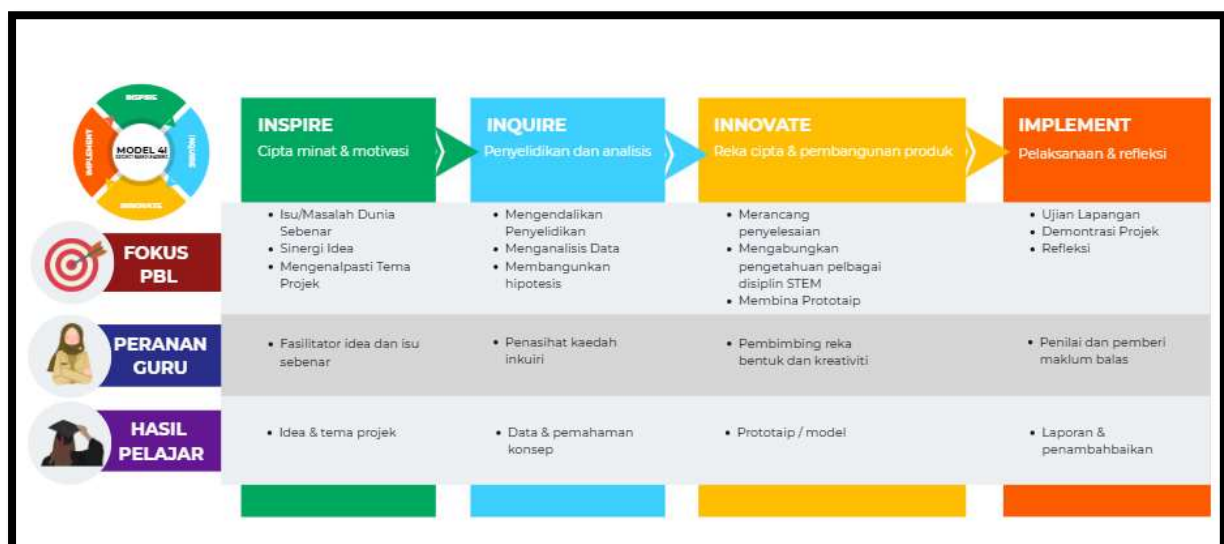
Prosedur Pelaksanaan 4I- PBL

Pelaksanaan Model 4I-PBL dijalankan secara sistematik melalui empat fasa utama yang diintegrasikan ke dalam modul pembelajaran STEM seperti dalam Rajah 2.

Fasa pertama, *Inspire*, memberi tumpuan kepada pendedahan awal pelajar terhadap permasalahan dunia sebenar dalam konteks STEM melalui penggunaan bahan multimedia, kajian kes terpilih, sesi perkongsian bersama pakar, serta demonstrasi amali. Pendekatan ini bertujuan untuk merangsang rasa ingin tahu, meningkatkan penglibatan kognitif, dan membina konteks pembelajaran yang autentik bagi mengekalkan minat serta motivasi intrinsik pelajar pintar dan berbakat terhadap tugas pembelajaran yang dijalankan.

Fasa kedua, *Inquire*, merangkumi proses penyelidikan dan penerokaan yang dilaksanakan secara sendiri dan kolaboratif. Dalam fasa ini, pelajar bekerja dalam kumpulan kecil untuk mengumpul dan menganalisis maklumat, membina persoalan kajian, meneroka konsep asas, serta menjalankan eksperimen berkaitan isu yang dikenal pasti. Pelaksanaan aktiviti disokong melalui perbincangan ilmiah, analisis data, penggunaan sumber digital, dan strategi pembelajaran berasaskan inkuiri yang bertujuan memperkukuh kemahiran penyiasatan saintifik serta pemikiran analitis pelajar.

Fasa ketiga, *Innovate*, menekankan pembangunan idea dan penghasilan penyelesaian kreatif berasaskan dapatan daripada proses inkuiri. Dalam fasa ini, pelajar terlibat dalam aktiviti mereka bentuk prototaip, membangunkan produk digital, atau menghasilkan model penyelesaian melalui proses reka bentuk yang bersifat interaktif dan iteratif. Pelaksanaan aktiviti ini menyokong perkembangan kreativiti, pemikiran kritis, serta keupayaan pelajar untuk menyelesaikan masalah kompleks secara kolaboratif.



Rajah 2: Prosedur Pelaksanaan 4I- PBL

Fasa keempat, *Implement*, merangkumi proses pembentangan, penilaian dan penambahbaikan hasil kerja. Pelajar membentangkan prototaip atau penyelesaian yang dibangunkan, menghuraikan justifikasi reka bentuk, serta membuat pengubahsuaian berdasarkan maklum balas rakan sebaya, guru dan pakar industri. Hasil akhir didokumentasikan melalui pembentangan formal, portfolio digital atau demonstrasi amali bagi mengukuhkan pembelajaran reflektif dan keberkesanan penyelesaian yang dihasilkan.

Secara keseluruhannya, pelaksanaan keempat-empat fasa ini disusun secara bersepadu sepanjang intervensi bagi mewujudkan pengalaman pembelajaran STEM yang autentik, berfokuskan pelajar dan selaras dengan keperluan kognitif serta potensi pelajar pintar dan berbakat.

Metodologi Kajian

Reka Bentuk Kajian

Kajian ini dilaksanakan menggunakan reka bentuk kajian tindakan yang bertujuan memperbaiki amalan pengajaran dan pembelajaran dalam kalangan pelajar pintar dan berbakat dalam bidang STEM. Pendekatan kaedah campuran (mixed-method) digunakan bagi memperoleh gambaran holistik tentang keberkesanan Model 4I-PBL (Inspire, Inquire, Innovate, Implement) dalam meningkatkan pencapaian dan kemahiran pelajar. Pengumpulan data adalah menerusi soal selidik tertutup menggunakan skala Likert lima mata diberikan selepas intervensi bagi menilai tahap kepuasan, motivasi, dan persepsi pelajar terhadap Model 4I-PBL. Data kuantitatif dianalisis menggunakan perisian statistik bagi mendapatkan statistik deskriptif seperti min, median dan sisihan piawai. Selain itu, analisis korelasi Pearson turut dijalankan bagi meneliti hubungan antara konstruk utama kajian, iaitu kepuasan pelajar terhadap Model 4I-PBL, motivasi pelajar dan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi. Analisis ini bertujuan untuk mengenal pasti kekuatan dan arah hubungan antara konstruk bagi menyokong perbincangan keberkesanan Model 4I-PBL dalam pembelajaran STEM.

Lokasi Kajian dan Kumpulan Sasaran

Kajian dijalankan di Kolej PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), iaitu sebuah institusi yang khusus menempatkan pelajar pintar dan berbakat. Seramai 77 orang pelajar daripada Program Digital Inovator terlibat sebagai peserta kajian. Pemilihan peserta dibuat melalui persampelan bertujuan (purposive sampling), berdasarkan keterlibatan mereka dalam modul pembelajaran STEM yang telah disesuaikan dengan struktur Model 4I-PBL serta kesediaan mereka mengikuti keseluruhan fasa intervensi.

Instrumen Kajian

Kajian ini menggunakan instrumen Soal Selidik Persepsi Pelajar berasaskan skala Likert lima mata bagi menilai keberkesanan pelaksanaan Model 4I-PBL dalam pembelajaran STEM. Instrumen ini dibahagikan kepada tiga konstruk utama, iaitu kepuasan pelajar terhadap Model 4I-PBL, motivasi pembelajaran, serta perkembangan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi.

Setiap konstruk diukur menggunakan beberapa item yang dibangunkan berdasarkan objektif kajian dan kerangka konseptual Model 4I-PBL. Skor purata bagi setiap konstruk digunakan untuk analisis statistik seterusnya, termasuk analisis deskriptif dan analisis korelasi Pearson bagi meneliti hubungan antara konstruk kajian.

Selain data kuantitatif, data kualitatif turut dikumpulkan melalui soalan terbuka, refleksi pelajar dan pemerhatian semasa pelaksanaan aktiviti kumpulan bagi memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap pengalaman pembelajaran pelajar dan menyokong dapatan kuantitatif kajian.

Keputusan dan Perbincangan**Jadual 1: Instrumen Kepuasan Pelajar terhadap Model 4I-PBL**

Soalan	Min	Median	Sisihan Piawai
Kepuasan Pelajar terhadap Model 4I-PBL			
Adakah anda menjalankan PBL dalam kelas pembelajaran anda?	4.51	5	0.76
Adakah anda sedar Model 4I dijalankan semasa PBL	4.05	4	0.67
Guru mengaplikasikan Model 4I dalam kelas PBL?	4.21	4	0.64
Saya faham bagaimana model 4I-PBL dilaksanakan dalam kelas STEM.	4.04	4	0.78
Pendekatan 4I-PBL menjadikan pembelajaran lebih menarik.	4.34	4	0.75
Saya lebih aktif terlibat dalam pembelajaran menggunakan model ini.	4.09	4	0.65
Model 4I-PBL membantu memahami konsep STEM?	4.26	4	0.65
Berpuas hati dengan cara Model 4I-PBL menggalakkan pembelajaran projek?	4.21	4	0.81
Model 4I-PBL memberi peluang berinteraksi dengan teknologi?	4.36	5	0.77

Kepuasan Pelajar terhadap Model 4I-PBL

Seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1, dapatan kajian menunjukkan tahap kepuasan pelajar yang tinggi terhadap pelaksanaan Model 4I-PBL dalam pembelajaran STEM, dengan skor min antara 4.04 hingga 4.51 serta nilai median yang konsisten pada tahap 4 hingga 5. Sisihan piawai yang rendah hingga sederhana (0.64–0.81) merentasi semua item mencerminkan keseragaman persepsi pelajar terhadap keberkesanan model ini.

Item “Adakah anda menjalankan PBL dalam kelas pembelajaran anda?” mencatatkan skor min tertinggi ($M = 4.51$, $SP = 0.76$), menunjukkan bahawa pembelajaran berasaskan projek telah dilaksanakan secara konsisten dalam konteks kajian. Namun demikian, dapatan yang lebih signifikan adalah tahap kesedaran pelajar terhadap pelaksanaan Model 4I dalam PBL ($M = 4.05$, $SP = 0.67$) serta kefahaman terhadap cara model ini diaplikasikan dalam pembelajaran STEM ($M = 4.04$, $SP = 0.78$). Ini menunjukkan bahawa pelajar bukan sahaja terlibat dalam aktiviti projek, tetapi juga memahami struktur pedagogi yang mendasari pelaksanaan PBL melalui kerangka 4I.

Tahap kepuasan yang tinggi terhadap aspek keterlibatan aktif ($M = 4.09$) dan peningkatan kefahaman konsep STEM ($M = 4.26$) menunjukkan bahawa Model 4I-PBL menyokong pembelajaran yang lebih bermakna dan berpusatkan pelajar. Selain itu, skor tinggi bagi item interaksi dengan teknologi ($M = 4.36$; Median = 5) mencerminkan keberkesanan fasa Innovate dan Implement dalam menyediakan peluang pembelajaran autentik yang menghubungkan pengetahuan teori dengan aplikasi dunia sebenar. Secara keseluruhan, dapatan ini

menunjukkan bahawa Model 4I-PBL bukan sekadar meningkatkan pengalaman pembelajaran, malah menyediakan struktur pelaksanaan PBL yang lebih jelas, sistematik dan difahami oleh pelajar.

Skor tertinggi direkodkan bagi item berkaitan pelaksanaan PBL dalam kelas ($M = 4.51$), menandakan bahawa pembelajaran berasaskan projek telah dilaksanakan secara konsisten. Lebih penting, skor yang tinggi bagi item kesedaran dan kefahaman terhadap Model 4I-PBL menunjukkan bahawa pelajar bukan sahaja terlibat dalam aktiviti projek, tetapi juga memahami struktur pedagogi yang membimbing proses pembelajaran mereka.

Dapatan ini mencadangkan bahawa Model 4I-PBL menyediakan kerangka yang jelas dan sistematik dalam pelaksanaan PBL, seterusnya meningkatkan penglibatan aktif, kefahaman konsep STEM dan interaksi dengan teknologi. Ini sejajar dengan prinsip pembelajaran berpusatkan pelajar yang menekankan kejelasan hala tuju pembelajaran dan penglibatan bermakna.

Jadual 2: Instrumen Motivasi Pelajar terhadap Model 4I-PBL

Soalan	Min	Median	Sisihan Piawai
Motivasi Pelajar			
Model 4I-PBL meningkatkan minat meneroka konsep STEM?	4.1	4	0.84
Model 4I-PBL membuatkan anda bermotivasi mencari penyelesaian kreatif?	4.16	4	0.83
Lebih yakin dalam bidang STEM selepas Model 4I-PBL?	4.12	4	0.71

Motivasi Pelajar

Berdasarkan Jadual 2, konstruk motivasi pelajar mencatatkan skor min antara 4.10 hingga 4.16 dengan sisihan piawai sederhana (0.71–0.84), menunjukkan persepsi yang positif dan konsisten dalam kalangan pelajar. Peningkatan minat untuk meneroka konsep STEM ($M = 4.10$) serta dorongan untuk menghasilkan penyelesaian kreatif ($M = 4.16$) mencerminkan kesan Model 4I-PBL terhadap motivasi intrinsik pelajar.

Lebih penting, dapatan ini menunjukkan bahawa motivasi pelajar tidak terhad kepada minat semata-mata, tetapi turut melibatkan keyakinan terhadap keupayaan diri dalam bidang STEM ($M = 4.12$). Ini mencadangkan bahawa struktur berfasa dalam Model 4I-PBL, khususnya fasa Inspire dan Inquire, berperanan dalam membina rasa ingin tahu, manakala fasa Innovate dan Implement menyokong pembentukan keyakinan melalui pengalaman menyelesaikan masalah sebenar dan menghasilkan produk projek.

Dapatan ini menyokong pandangan bahawa motivasi pelajar dalam pembelajaran STEM dapat dipertingkatkan apabila mereka diberikan autonomi, peluang penerokaan dan pengalaman pembelajaran yang relevan dengan dunia sebenar.

Pelajar melaporkan peningkatan minat untuk meneroka konsep STEM serta dorongan untuk mencari penyelesaian kreatif melalui aktiviti projek. Selain itu, tahap keyakinan pelajar terhadap keupayaan diri dalam bidang STEM juga berada pada tahap tinggi. Hal ini menunjukkan bahawa motivasi pelajar bukan sekadar terhad kepada minat, tetapi turut melibatkan kepercayaan terhadap kebolehan diri.

Secara konseptual, struktur berfasa dalam Model 4I-PBL memainkan peranan penting dalam memupuk motivasi pelajar. Fasa Inspire dan Inquire merangsang rasa ingin tahu dan penerokaan, manakala fasa Innovate dan Implement memberi peluang kepada pelajar untuk mengaplikasikan idea dan menyaksikan hasil usaha mereka secara nyata. Gabungan ini menyokong pembelajaran sendiri dan keterlibatan kognitif yang lebih mendalam.

Jadual 3: Instrumen Penyelesaian Masalah, Kreativiti dan Inovasi

Soalan	Min	Median	Sisihan Piawai
Penyelesaian Masalah, Kreativiti dan Inovasi			
Mengenal pasti masalah lebih jelas semasa PBL	4.18	4	0.6
Bebas mencuba kaedah berbeza dalam tugas.	4.36	4	0.74
Digalakkan berfikir luar kotak.	4.49	5	0.63
Menghasilkan produk/penyelesaian baharu dari PBL	4.28	4	0.79
Faham aplikasi ilmu STEM kepada dunia sebenar.	4.22	4	0.82
Bangga idea diiktiraf guru/rakan	4.64	5	0.56
Meningkatkan kemahiran teknikal melalui Model 4I-PBL	4.3	4	0.69
Meningkatkan kreativiti dan inovasi	4.41	4	0.62
Model 4I-PBL membantu hasilkan penyelesaian inovatif projek STEM	4.31	4	0.58
Model 4I-PBL mengasah kerja berpasukan dalam pembelajaran STEM	4.2	4	0.79

Penyelesaian Masalah, Kreativiti dan Inovasi

Jadual 3 menunjukkan bahawa konstruk penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi mencatatkan skor min yang sangat tinggi, iaitu antara 4.18 hingga 4.64, dengan sisihan piawai rendah hingga sederhana (0.56–0.82). Item “Bangga apabila idea diiktiraf oleh guru dan rakan” merekodkan skor tertinggi ($M = 4.64$, $Median = 5$, $SP = 0.56$), menunjukkan bahawa pengiktirafan sosial dan akademik merupakan faktor penting dalam meningkatkan keyakinan dan keterlibatan pelajar dalam pembelajaran berasaskan projek.

Selain itu, skor tinggi bagi item “Digalakkan berfikir di luar kotak” ($M = 4.49$, $Median = 5$) dan “Bebas mencuba kaedah berbeza dalam tugas” ($M = 4.36$) menonjolkan keberkesanan fasa Inspire dan Innovate dalam Model 4I-PBL untuk merangsang pemikiran kreatif dan penerokaan idea baharu. Keupayaan pelajar menghasilkan penyelesaian inovatif ($M = 4.31$)

serta kefahaman terhadap aplikasi ilmu STEM dalam dunia sebenar ($M = 4.22$) menunjukkan bahawa pembelajaran yang berlaku melangkaui pencapaian akademik semata-mata.

Dapatan ini turut menunjukkan peningkatan dalam kemahiran teknikal ($M = 4.30$) dan kerja berpasukan ($M = 4.20$), yang merupakan komponen utama kemahiran abad ke-21. Secara keseluruhan, Model 4I-PBL menyediakan persekitaran pembelajaran yang menyokong pembangunan holistik pelajar, di mana kreativiti, inovasi dan penyelesaian masalah kompleks dibangunkan secara bersepadu melalui pengalaman projek yang autentik.

Item berkaitan pengiktirafan idea oleh guru dan rakan mencatatkan skor tertinggi, menunjukkan bahawa sokongan sosial dan akademik merupakan faktor penting dalam membina keyakinan pelajar. Selain itu, skor tinggi bagi item kebebasan mencuba kaedah berbeza dan galakan berfikir di luar kotak menonjolkan keberkesanan Model 4I-PBL dalam merangsang pemikiran kreatif dan inovatif.

Pelajar juga melaporkan peningkatan kefahaman terhadap aplikasi ilmu STEM dalam dunia sebenar, peningkatan kemahiran teknikal serta keupayaan bekerja secara berpasukan. Ini menunjukkan bahawa pembelajaran yang berlaku adalah bersifat holistik dan melangkaui pencapaian akademik semata-mata.

Dapatan Kajian

Dapatan kajian ini mengesahkan bahawa Model 4I-PBL merupakan pendekatan pedagogi yang berkesan dalam memperkaya pengalaman pembelajaran STEM dalam kalangan pelajar pintar dan berbakat. Analisis kuantitatif menunjukkan tahap kepuasan dan motivasi yang tinggi, dengan skor min antara 4.10 hingga 4.50 serta sisihan piawai yang rendah, menandakan persepsi positif yang konsisten terhadap pelaksanaan model ini. Tahap kepuasan dan motivasi yang tinggi, disertai sisihan piawai yang rendah, menunjukkan bahawa kesan positif model ini dialami secara konsisten oleh pelajar.

Lebih penting, kajian ini menyumbang kepada literatur sedia ada dengan menunjukkan bahawa keberkesanan PBL dapat dipertingkatkan melalui kerangka pelaksanaan yang tersusun seperti Model 4I-PBL. Struktur berfasa *Inspire, Inquire, Innovate, Implement* bukan sahaja menyokong penglibatan pelajar, tetapi juga menghubungkan aspek afektif (motivasi dan kepuasan) dengan pembangunan kemahiran kognitif dan teknikal, khususnya kreativiti, inovasi dan penyelesaian masalah dunia sebenar.

Walaupun dapatan kajian ini berasaskan persepsi sendiri pelajar, konsistensi skor yang tinggi merentasi konstruk utama mencadangkan bahawa Model 4I-PBL mempunyai potensi yang signifikan sebagai rangka pedagogi dalam pendidikan STEM, terutamanya dalam konteks pelajar berkeupayaan tinggi. Kajian ini seterusnya membuka ruang kepada penyelidikan lanjutan yang melibatkan analisis inferensi dan reka bentuk eksperimen bagi menilai impak model ini secara lebih mendalam.

Bagi memperkukuh analisis dapatan kajian, analisis korelasi Pearson telah dijalankan untuk meneliti hubungan antara kepuasan pelajar terhadap Model 4I-PBL, motivasi pelajar, serta kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi. Dapatan menunjukkan wujud hubungan positif antara kepuasan pelajar dan motivasi pelajar, serta hubungan positif antara motivasi pelajar dan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi. Corak hubungan

ini mencadangkan bahawa tahap kefahaman dan kepuasan pelajar terhadap pelaksanaan Model 4I-PBL berkait rapat dengan peningkatan motivasi intrinsik, yang seterusnya menyokong pembangunan kemahiran kognitif aras tinggi dalam pembelajaran STEM. Hubungan saling berkait antara konstruk ini menunjukkan bahawa Model 4I-PBL berfungsi sebagai rangka pedagogi yang mengintegrasikan dimensi afektif dan kognitif secara menyeluruh, sekali gus menyumbang kepada pembelajaran STEM yang lebih bermakna dan berimpak tinggi.

Analisis Korelasi antara Konstruk Kajian

Bagi meneliti hubungan antara konstruk utama kajian, analisis korelasi Pearson telah dijalankan antara kepuasan pelajar, motivasi pelajar dan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi. Hasil analisis ditunjukkan dalam Jadual 4.

Jadual 4: Instrumen Penyelesaian Masalah, Kreativiti dan Inovasi

Konstruk	Kepuasan	Motivasi	Kreativiti & Inovasi
Kepuasan Pelajar	1.00	0.68	0.72
Motivasi Pelajar	0.68	1.00	0.75
Kreativiti & Inovasi	0.72	0.75	1.00

Nota: $p < 0.01$

Perbincangan Korelasi

Dapatan analisis korelasi menunjukkan wujud hubungan positif yang kuat dan signifikan antara ketiga-tiga konstruk kajian. Hubungan antara kepuasan pelajar dan motivasi pelajar ($r = 0.68$, $p < 0.01$) menunjukkan bahawa tahap kepuasan yang tinggi terhadap pelaksanaan Model 4I-PBL berkait rapat dengan peningkatan motivasi pelajar dalam pembelajaran STEM.

Selain itu, motivasi pelajar menunjukkan hubungan yang paling kuat dengan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi ($r = 0.75$, $p < 0.01$), mencadangkan bahawa pelajar yang lebih bermotivasi cenderung untuk menunjukkan tahap pemikiran kreatif, inovatif dan keupayaan menyelesaikan masalah yang lebih tinggi.

Hubungan signifikan antara kepuasan pelajar dan kemahiran penyelesaian masalah, kreativiti dan inovasi ($r = 0.72$, $p < 0.01$) pula menunjukkan bahawa pengalaman pembelajaran yang positif melalui Model 4I-PBL menyokong pembangunan kemahiran abad ke-21 secara holistik. Dapatan ini mencadangkan bahawa Model 4I-PBL bukan sahaja memberi kesan langsung terhadap pengalaman pembelajaran pelajar, malah berfungsi sebagai mekanisme pedagogi yang meningkatkan motivasi seterusnya memperkukuh perkembangan kreativiti dan inovasi dalam pembelajaran STEM.

Kesimpulan

Kajian ini merumuskan bahawa Model 4I-PBL (Inspire, Inquire, Innovate, Implement) berpotensi tinggi sebagai pendekatan pedagogi yang berkesan dan relevan dalam pembelajaran STEM, khususnya dalam kalangan pelajar pintar dan berbakat. Dapatan kajian menunjukkan bahawa Model 4I-PBL memberi impak positif yang menyeluruh terhadap pengalaman pembelajaran STEM pelajar pintar dan berbakat.

Berdasarkan sorotan literatur dan dapatan empirikal kajian ini, dapat dirumuskan bahawa Model 4I-*Project-Based Learning* (4I-PBL) merupakan satu pendekatan pedagogi yang selari dengan keperluan pembelajaran bermakna, khususnya dalam konteks pendidikan STEM untuk pelajar pintar dan berbakat. Seperti yang diujahkan oleh *Teori Situated Learning* (Lave & Wenger, 1991), pembelajaran menjadi lebih signifikan apabila pelajar dapat mengaitkan pengetahuan akademik dengan realiti dunia sebenar. Dapatan kajian ini menyokong pandangan tersebut apabila pelajar menunjukkan tahap kepuasan dan kefahaman yang tinggi terhadap pelaksanaan PBL berasaskan isu autentik, penggunaan teknologi dan penghasilan projek yang relevan dengan konteks sebenar.

Dari sudut fasa Inspire dan Inquire, dapatan menunjukkan peningkatan motivasi, minat dan kefahaman konseptual pelajar, selari dengan literatur yang menegaskan keberkesanan *Inquiry-Based Learning* (IBL) dalam meningkatkan pemahaman mendalam dan mengurangkan salah konsep dalam pembelajaran sains dan STEM (Hmelo-Silver et al., 2007; Minner et al., 2010). Pelajar bukan sahaja memahami apa yang dipelajari, tetapi juga mengapa dan bagaimana sesuatu konsep diaplikasikan, sekali gus memenuhi tuntutan pembelajaran aras tinggi yang diperlukan oleh pelajar berkeupayaan tinggi. Selain itu, dapatan kajian turut menunjukkan pembangunan kemahiran metakognitif seperti refleksi sendiri dan penilaian strategi pembelajaran, sejajar dengan dapatan Schraw et al. (2006).

Seterusnya, fasa Innovate dan Implement dalam Model 4I-PBL menyokong prinsip *Creative Problem Solving* (CPS) dan *Experiential Learning* yang menekankan penjanaan idea secara divergen dan konvergen, diikuti dengan pelaksanaan penyelesaian dalam situasi sebenar (Osborn & Parnes; Kolb, 1984). Skor min yang tinggi bagi item berkaitan pemikiran luar kotak, kebebasan mencuba pelbagai kaedah, serta kebanggaan terhadap pengiktirafan idea menunjukkan bahawa pelajar mengalami pembelajaran yang bersifat reflektif dan transformatif. Proses ini membolehkan pemindahan pengetahuan ke konteks baharu, seperti yang ditegaskan oleh Moon (2004), sekali gus menyokong pembelajaran mendalam berbanding pembelajaran permukaan.

Secara keseluruhan, dapatan kajian ini mengukuhkan bukti empirikal bahawa PBL berintegrasi STEM berkesan dalam meningkatkan penglibatan pelajar, kemahiran pemikiran aras tinggi, kreativiti dan keupayaan aplikasi ilmu dalam dunia sebenar. Dalam konteks pelajar pintar dan berbakat, Model 4I-PBL memenuhi keperluan pembelajaran yang lebih kompleks dengan menyediakan ruang untuk autonomi, penerokaan mendalam, penggunaan teknologi dan kerjasama autentik, sebagaimana yang disarankan oleh Zimlich (2017) dan Ziadat & Sakarneh (2021).

Hubungan antara konstruk ini mencadangkan bahawa Model 4I-PBL berfungsi sebagai satu ekosistem pembelajaran bersepadu, di mana pengalaman pembelajaran yang positif menyokong pembentukan motivasi intrinsik dan seterusnya merangsang pembangunan kemahiran abad ke-21. Integrasi pembelajaran berasaskan projek, teknologi digital dan konteks dunia sebenar dalam Model 4I-PBL membolehkan pelajar bukan sahaja memahami konsep STEM secara mendalam, malah mengaplikasikannya secara kreatif dan inovatif.

Walaupun kajian ini mempunyai beberapa batasan seperti penggunaan data pelaporan sendiri dan konteks institusi yang khusus, dapatan kajian tetap memberikan implikasi penting dari sudut teori dan praktikal. Secara keseluruhan, Model 4I-PBL berpotensi untuk dijadikan kerangka pedagogi yang menyokong pembangunan pelajar sebagai pemikir kritis, penyelesaian masalah dan inovator masa hadapan dalam pendidikan STEM.

Kesimpulannya, Model 4I-PBL bukan sahaja menyokong pembangunan kognitif pelajar dalam bidang STEM, malah berperanan membentuk identiti pelajar sebagai pemikir kritis, penyelesaian masalah, kolaborator dan inovator, sejajar dengan keperluan kemahiran abad ke-21 dan aspirasi pembangunan modal insan negara. Oleh itu, kajian ini mencadangkan agar Model 4I-PBL dipertimbangkan sebagai satu kerangka pedagogi strategik dalam pembangunan kurikulum STEM, khususnya melalui latihan profesional guru, pengukuhan kerjasama industri dan penyediaan persekitaran pembelajaran autentik yang lestari.

Penghargaan:	Kajian ini telah dihasilkan dengan kerjasama para akademik dan para pelajar daripada Pusat PERMATA@Pintar Negara, Universiti Kebangsaan Malaysia. Penghargaan juga diberikan kepada Pusat PERMATA@Pintar Negara dan Universiti Kebangsaan Malaysia kerana telah mengizinkan kajian ini dihasilkan dengan menggunakan Geran Penyelidikan PERMATA-2025-013.
Penyataan Pembiayaan:	Kajian ini menerima sokongan kewangan daripada kepada Pusat PERMATA@Pintar Negara dan Universiti Kebangsaan Malaysiadi bawah Nombor Geran PERMATA-2025-013.
Pernyataan Konflik Kepentingan:	Penulis mengisytiharkan bahawa tiada konflik kepentingan berkaitan penerbitan kertas kerja ini. Semua penulis telah menyumbang kepada kajian ini dan telah meluluskan versi akhir manuskrip untuk penyerahan kepada International Journal of Education, Psychology and Counseling (IJEPC)
Pernyataan Etika:	Kajian ini telah dijalankan selaras dengan piawaian etika penyelidikan. Semua prosedur yang melibatkan responden manusia telah disemak dan diluluskan oleh Pusat PERMATA@Pintar Negara,UKM. Persetujuan bermaklumat telah diperolehi daripada semua responden sebelum pengumpulan data dijalankan. Penyertaan adalah secara sukarela, dan responden telah dijamin kerahsiaan serta anonimitas. Data yang dikumpulkan digunakan semata-mata bagi tujuan akademik.

Pernyataan Sumbangan Penulis:	Semua penulis telah menyumbang secara signifikan terhadap pembangunan manuskrip ini. [Siti Aishah Hassan] bertanggungjawab terhadap pengkonsepan, metodologi dan penyeliaan keseluruhan kajian. [Isaac Sharvindran Seigar, Ahmad Ameer Aizat Ahmad Zamri dan Ahmad Iqmal Hakim Zaluzy] mengendalikan pengumpulan data, analisis serta tafsiran dapatan kajian. [Afifah Mohamad Radzi, Che Suriani Kiflee dan Norfiza Apfandi] menyumbang kepada sorotan literatur, penyediaan draf, dan semakan kritikal manuskrip. Semua penulis telah membaca dan meluluskan versi akhir manuskrip sebelum penyerahan.
--	--

Rujukan

- AlAli, M. (2024). Integrating STEM and PBL for 21st-century competencies: A systematic review. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22(3), 415–432.
- Andriyani, M., Kriswanto, K., Asrial, A., & Damris, D. (2025). Analisis Kebutuhan Pengembangan Multimedia Interaktif Berbasis STEM-PjBL Pada Materi Ikatan Kimia. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 13(Special_issue), 338–348.
- Andriyani, N., Putra, H., & Rahmawati, S. (2025). STEM-integrated project-based learning and its impact on students' problem-solving skills. *Journal of STEM Education Research*, 12(1), 33–48.
- Bell, S. 2010. Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39–43. *A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas*.
- Dym, C.L., "Learning Engineering: Design, Languages, and Experiences," *Journal of Engineering Education*, vol. 88, no. 2, 1999, pp. 145–148.
- Effendi, R., & Yoto, Y. (2024). STEM-Project-Based Learning to enhance innovation and workforce readiness. *Journal of Technical and Vocational Studies*, 9(2), 112–129.
- Gagné, F. 2005. From gifts to talents: The DMGT as a developmental model. In R. J. Sternberg & J. E. Davidson (Eds.), *Conceptions of giftedness* (2nd ed., pp. 98–119). Cambridge University Press.
- Hakiki, F. A., Munawaroh, S., & Lestari, D. (2022). STEM education for building global-ready learners: A conceptual analysis. *Indonesian Journal of Science Education*, 6(4), 211–226.
- Haritzah, B., Ananda, R., & Azizah, N. (2024). Developing 4C skills through STEM-based PBL in secondary schools. *Journal of 21st Century Learning*, 5(1), 77–89.
- Herrington, J., & Oliver, R. 2000. An instructional design framework for authentic learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 48(3), 23–48.
- Heryanti, S. (2020). Project-based STEM learning to foster students' creativity. *Journal of Educational Innovation*, 10(2), 54–63.
- Hmelo-Silver, C. E. 2004. Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
- Kementerian Pendidikan Malaysia. (2023). Laporan perkembangan pendidikan STEM di Malaysia 2023. Bahagian Perancangan dan Penyelidikan Dasar Pendidikan.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815355>
- Lestari, R., Widodo, A., & Pramana, D. (2023). The effectiveness of STEM-PBL integration on conceptual understanding and creativity. *Journal of Science Learning*, 8(1), 15–29.
- Mona, R., & Rachmawati, T. (2023). Project-Based Learning in developing 21st-century competencies in STEM classrooms. *Journal of Modern STEM Pedagogy*, 4(2), 101–118.
- Renzulli, J. S. (2021). *Advancing the development of gifted and talented students through creativity and innovation*. Routledge.
- Smith, J., Brown, K., & Taylor, M. (2022). Project-Based Learning and student motivation in STEM education: A longitudinal study. *International Journal of STEM Education*, 9(14), 1–12.
- Schraw, G., Crippen, K. J., & Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education*, 36, 111-139. <https://doi.org/10.1007/s11165-005-3917-8>

- Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P., & Worrell, F. C. 2011. Rethinking giftedness and gifted education: A proposed direction forward based on psychological science. *Psychological Science in the Public Interest*, 12(1), 3–54.
- Sundari, N. (2023). Pedagogi autentik untuk pelajar pintar dan berbakat dalam era pendidikan digital. *Journal of Gifted Education Studies*, 8(2), 45–58.
- Sutrisno, A., & Syukur, A. (2023). STEM-based PBL and the development of innovation skills among high school students. *Journal of Science Education Research*, 17(3), 63–78.
- Thomas, J. W. 2000. A review of research on project-based learning. San Rafael, CA: The Autodesk Foundation. Retrieved from
- VanTassel-Baska, J., & Wood, S. 2010. The integrated curriculum model (ICM). *Learning and Individual Differences*, 20(4), 345–357.
- Wicaksono, A. (2020). Interdisciplinary STEM-PBL approach to developing higher-order thinking skills. *Journal of Educational Science and Technology*, 6(2), 89–98.
- Ziadat, A. H., & Sakarneh, M. (2021). Meeting gifted learners' needs through advanced PBL and technology-enhanced pedagogy. *Journal of Gifted Education and Creativity*, 8(1), 25–40