

Gamifikasi Pendidikan Biologi: Minecraft Education Meningkatkan Kecekapan Penggunaan Permainan Digital Guru Pelatih Dalam Pengajaran

Wee-Ling Tan^{1*} 

¹School of Educational Studies, Universiti Sains Malaysia
Universiti Sains Malaysia, 11800, Pulau Pinang, Malaysia

*Corresponding Email: tanweeling@usm.my¹

ARTICLE INFORMATION

Publication information

Research article

HOW TO CITE

Tan, W.-L. (2026). Gamifikasi pendidikan biologi: Minecraft Education meningkatkan kecekapan penggunaan permainan digital guru pelatih dalam pengajaran. *Current Issues & Research in Social Sciences, Education and Management (CIRSSEM)*, 4(1), 54–70.

DOI:

<https://doi.org/10.32535/ssem.v8i4.4387>

Copyright @ 2026 owned by Author(s).
Published by CIR-SSEM



This is an open-access article.

License:

Attribution-Noncommercial-Share Alike
(CC BY-NC-SA)

Received: 9 December 2025

Accepted: 7 January 2025

Published: 11 February 2026

ABSTRAK

Penggunaan teknologi dalam pengajaran Biologi semakin penting bagi menyokong pembelajaran interaktif, namun kesediaan guru pelatih dalam mengaplikasikan permainan digital masih rendah akibat latihan yang terhad. Kajian ini menilai peningkatan kecekapan penggunaan permainan digital dalam kalangan 30 guru pelatih Biologi melalui bengkel berasaskan Minecraft Education (ME). Ujian pra dan pasca berdasarkan Kerangka Kerja TPACK-G digunakan untuk menilai tiga domain kecekapan iaitu pengetahuan permainan (GK), pengetahuan kandungan permainan (GCK) dan pengetahuan kandungan pedagogi permainan (GPCK). Keputusan menunjukkan peningkatan signifikan dalam ketiga-tiga domain selepas intervensi, dengan GPCK mencatatkan peningkatan tertinggi. Dapatan ini membuktikan bahawa ME berpotensi meningkatkan literasi permainan digital guru pelatih serta menyokong pengajaran Biologi yang lebih berkesan. Kajian ini memberikan panduan kepada pembuat dasar dan pereka kurikulum dalam merancang latihan guru berasaskan teknologi permainan digital.

Kata Kunci: Kecekapan Permainan Digital; Gamifikasi; Minecraft Education; Guru Pelatih Biologi; Kerangka TPACK-G.

PENGENALAN

Revolusi digital memberikan impact yang mendalam pada sistem pendidikan abad ke-21, yang mengutamakan transformasi pengajaran daripada tradisional ke pengajaran berasaskan teknologi yang bermakna, terutamanya pendidikan STEM (Ahmad et al., 2023). Intipati transformasi merupakan idea literasi digital yang memperkasakan guru untuk memanfaatkan teknologi yang sesuai dalam memperkayakan amalan pedagogi pengajaran. Dengan itu, misi utama guru pada era ini ialah mengamalkan amalan pengajaran yang lebih kreatif dengan teknologi bagi meningkatkan penglibatan dan pencapaian murid dalam pembelajaran, selain penyampaian pengetahuan.

Kajian telah menunjukkan wujudnya hubungan signifikan antara kepentingan kecekapan digital guru dengan penglibatan murid dalam pengajaran, pencapaian akademi dan kreativiti (Tai et al., 2022) terutamanya dalam disiplin STEM. Namun, keberkesanan kecekapan digital guru dalam pengajaran biologi tetap dipersoalkan. Hal ini kerana kaedah pengajaran biologi tradisional yang sering kali dikaitkan dengan membosankan dan gagal menarik minat murid dengan fakta-fakta yang banyak (Markandan et al., 2022). Pengajaran biologi tradisional ini gagal membangunkan kemahiran tahap tinggi seperti pemikiran kritikal, penyelesaian masalah dan kolaborasi apabila berhadapan dengan pengajaran dan pembelajaran konsep biologi yang abstrak (Markandan et al., 2022). Tambahan pula, pembelajaran biologi seringkali dikaitkan dengan penghafalan banyak fakta yang abstrak dan susah difahami (Markandan et al., 2022). Walaupun terdapat minat global yang semakin meningkat terhadap pendidikan biologi dalam kalangan pelajar, namun peranan guru mewujudkan amalan pedagogi yang selaras dengan matlamat kurikulum serta mewakili bidang STEM dengan tepat tetap sukar diaplikasikan (Tan, 2024). Guru juga menyatakan ketidakpastian dalam menggabungkan permainan digital kerana kebimbangan mengenai ketidakselarasan dengan objektif kurikulum dan latihan yang tidak mencukupi (Tan, 2024), apatah lagi guru pelatih. Tambahan pula, penekanan sedia ada pada pendidikan STEM hanya mempromosikan sains komputer dan pengaturcaraan sambil mengabaikan disiplin lain, mengakibatkan kurangnya kemahiran penyelesaian masalah rentas disiplin (Tan, 2024).

Penyelidikan membuktikan gamifikasi sebagai teknik pedagogi inovatif dan berkesan yang menggunakan asas permainan untuk mengubah konteks pendidikan yang berbentuk pembelajaran berpusatkan murid yang lebih interaktif (Smiderle et al., 2020). *Minecraft Education* (ME) berpontensi dalam mengubah cara guru mengajar terutama subjek sains. Ciri-ciri ME yang bersifat platform gaya "sandbox" digital dengan pembinaan persekitaran pembelajaran pengalaman dunia terbuka yang imersif yang mengalakan kolaboratif dan eksplorasi (Panja & Berge, 2021). Kajian membuktikan ciri-ciri ME ini bukan sahaja memudahkan integrasi sains ke dalam persekitaran pembelajaran STEM, malah menawarkan peluang interaktif kepada murid untuk meneroka sains dalam konteks kehidupan sebenar (Panja & Berge, 2021) terutamanya pendidikan biologi.

Dengan itu, kajian ini bertujuan menguji keberkesanan ME dalam meningkatkan keyakinan guru pelatih dalam penggunaan permainan digital dalam pengajaran biologi, selain terbukti keberkesanan ME dalam pembelajaran STEM. Walaupun ME mempunyai potensi besar, peranan ME dalam meningkatkan kecekapan digital dalam kalangan guru pelatih perlu dikaji. Guru pelatih inilah bakal pendidik yang akan mendidik generasi muda negara kita. Ketersediaan dan kelengkapan guru pelatih dengan digital teknologi ini penting dalam penentu arah tuju negara kita. Dengan itu, GK, GCK dan GPCK, terutamanya penggunaan permainan digital dalam pembelajaran konsep biologi dalam kalangan guru pelatih biologi perlu dinilai dan dikenalpasti. Dengan itu, parameter dalam kajian ini ialah ME, kemahiran permainan digital dan guru pelatih biologi. Kajian ini telah mengkaji

kesan ME dalam meningkatkan kemahiran permainan digital dalam kalangan 30 guru pelatih biologi dengan berpanduan kerangka kerja TPACK-G.

SOROTAN LITERATUR

Gamifikasi dalam Pendidikan

Gamifikasi mengaplikasikan permainan elemen di luar konteks permainan untuk mengubah proses pembelajaran. Kaedah gamifikasi ini menggalakkan penglibatan, motivasi dan penyertaan aktif pelajar yang berguna dalam mengatasi masalah tradisional pendidikan yang lemah dalam mengekalkan konsep, kurang menarik minat dan ketidakaktifan murid (Markandan et al., 2022). (Papadakis & Kalogiannakis, 2019) mengakui bahawa menyepadukan permainan ke dalam simulasi dan pengajaran konsep STEM dapat meningkatkan keberkesanan pengajaran kerumitan inovatif melalui ilustrasi interaktif. Kebanyakan simulasi permainan menggunakan senario yang membolehkan murid melihat konsep abstrak dan menerokainya dalam persekitaran yang selamat. Namun, cabaran wujud dalam menggabungkan keseronokan permainan dengan matlamat pendidikan dalam pembelajaran mendalam yang berkesan (Panja & Berge, 2021) terutamanya subjek biologi. Hal ini kerana permainan pendidikan yang sedia ada menyasarkan fokus STEM telah dikritik kerana jangkauannya yang sempit. Program sedemikian cenderung memberi tumpuan kepada jenis latih tubi atau pembelajaran hafalan berbanding memupuk pemikiran aras tinggi, penyelesaian masalah, dan penerokaan kreatif (Balasubramanian & Wilson, 2022).

Idea menggunakan gamifikasi dalam pembelajaran menggambarkan potensi yang tinggi, namun gabungan tersebut tidak terlepas daripada cabaran. Salah satu halangan utama ialah kekurangan kemahiran permainan digital dalam kalangan guru. Latihan yang terhad dan kurang pengalaman dengan platform permainan digital maju yang canggih menyebabkan guru tidak dapat menggunakan alatan gamifikasi secara berkesan (Subhash & Cudney, 2018; Nebel et al., 2015). Ini merupakan isu terutamanya dalam pendidikan, di mana alatan teknologi biasanya melampaui sekadar pengetahuan kandungan dan pedagogi. Penyelidikan telah berulang kali menunjukkan bahawa walaupun dengan alat gamifikasi yang paling inovatif, impaknya akan terhad tanpa pembangunan profesional yang bersasaran (Bertrand & Namukasa, 2020). Isu kedua berkaitan dengan kekurangan alatan gamifikasi yang direka khusus untuk pendidikan biologi. Walaupun terdapat literatur yang meningkat tentang gamifikasi, majoriti kajian menumpukan kepada pendidikan am bukannya keperluan khusus subjek STEM (Balasubramanian & Wilson, 2022) terutamanya biologi. Pendidikan biologi bukan sahaja memerlukan alatan pengajaran yang dapat menarik minat murid tetapi juga cara untuk menyampaikan idea abstrak yang kompleks dan saling berkaitan kepada murid. Dengan itu, ME yang dikenalpasti sebagai alat gamifikasi, berpotensi dalam merapatkan jurang ini.

Potensi Minecraft Education (ME) Dalam Pendidikan

ME membuka platform untuk sokongan pembelajaran yang dinamik melalui penyediaan pengalaman yang imersif, interaktif, dan digamifikasikan. Tidak seperti kebanyakan permainan pendidikan konvensional, ME menyediakan platform yang dikonfigurasi dan terbuka yang mampu menyokong matlamat pendidikan yang berbeza. Pendekatan "sandbox" Minecraft membolehkan murid meneroka prinsip saintifik, mereka bentuk simulasi dunia maya, dan mengambil bahagian dalam pengalaman pembelajaran berasaskan projek yang memupuk kreativiti, kolaborasi, dan pemikiran kritis, iaitu kemahiran abad ke-21 (Squire, 2011). Gamifikasi mendorong murid dalam cara yang sering diabaikan oleh pedagogi tradisional, sekali gus meningkatkan minat mereka dalam subjek STEM. Menurut (Bertrand & Namukasa, 2020), ME bukan sahaja mempromosikan kreativiti dan pemikiran kritis tetapi juga bertindak sebagai

penghubung semula jadi antara kandungan teori STEM dan praktiknya. Guru boleh merangka aktiviti khusus untuk kurikulum, memastikan item tersebut sejajar dengan keperluan khusus murid.

Salah satu ciri utama ME adalah penyepaduan pelbagai bidang STEM ke dalam satu aktiviti pembelajaran. Keupayaan unik ME untuk menyatukan pelbagai disiplin mencipta pendekatan holistik kepada pendidikan STEM (Papadakis & Kalogiannakis, 2019). Sebagai contoh, keupayaan *Redstone* memudahkan penciptaan litar, sekali gus menyepadukan konsep kejuruteraan ke dalam proses pembelajaran (GoE-Craft, 2020) manakala pembina kod (*code builder*) membolehkan mereka meningkatkan kemahiran pengaturcaraan dan pemikiran komputasi (Papert, 1993). Murid mengira luas, mengukur sudut, dan mengurus sumber untuk mengukuhkan prinsip matematik, manakala eksperimen kimia dan simulasi ekologi membezakan penerokaan saintifik. Komponen kimia dalam ME membolehkan murid bereksperimen dan menghasilkan pelbagai tindak balas atau sebatian (GoE-Craft, 2020). Murid terlibat dalam pengaplikasiangunaan dan konseptual STEM yang mencabar melalui ruang pembelajaran maya, seperti yang dinyatakan oleh (Baek et al., 2020). Namun, kajian (Bertrand & Namukasa, 2020) menunjukkan bahawa ME meningkatkan pemahaman konseptual murid tentang masalah, tetapi terdapat kajian membujur (longitudinal) yang terhad tentang impaknya terhadap prestasi. Walaupun ME telah menunjukkan potensi kreatifnya, keberkesanannya dalam mengajar subjek biologi masih belum dikenalpasti.

Cabaran Penggunaan ME Dalam Pengajaran

Namun, walaupun ME menunjukkan ciri-ciri pembelajaran positif yang tinggi, ME boleh menjadi sukar untuk disesuaikan dalam pendidikan biologi. Kelemahan utama adalah pergantungan kepada pengetahuan guru. Malah, pendidik hanya menggunakan ME secara berkesan apabila guru mempunyai kecekapan dalam teknologi digital dan pengetahuan antara disiplin untuk menggabungkan konsep biologi yang berbeza di dalamnya (Tan, 2024). Walau bagaimanapun, seperti yang dinyatakan oleh (Roehrig et al., 2021), tidak semua guru mempunyai pengetahuan kejuruteraan. Hal ini menjadi penghalang untuk merangka tugas yang menggunakan ME ke tahap potensi sepenuhnya. Sumber yang berkualiti adalah terhad, bukan sahaja untuk pembangunan industri tetapi untuk jenis pengajaran yang sepatutnya berkembang kerana ME bersifat antara disiplin sepenuhnya dan lebih sukar untuk mewujudkan program pembangunan profesional yang berkesan untuk menyediakan guru biologi yang benar-benar bersepadu.

Cabaran yang serupa termasuk penjajaran kurikulum dan kebolehskalaan ME terutamanya dalam subjek biologi. Kajian oleh (Papadakis, 2020) mendedahkan bahawa inisiatif latihan untuk guru kerap mengabaikan keutamaan penggunaan alat STEM dan gamifikasi, menyebabkan guru mempunyai pengetahuan yang tidak mencukupi teg kaedah ini. Sudah tentu, penjajaran kurikulum membentangkan cabaran lain, menjadikannya sukar untuk menyesuaikan alat berasaskan permainan untuk memenuhi standard kurikulum. Guru perlu menjamin bahawa permainan adalah selaras dengan objektif pembelajaran dan tidak memberi tumpuan berlebihan kepada mekanik permainan (Subhash & Cudney, 2018). Walaupun ME membolehkan guru merangka pelajaran yang disesuaikan khusus untuk murid mereka, ia sering memakan banyak masa dan usaha untuk memahami bagaimana aktiviti tersebut sesuai dengan kurikulum standard. Khususnya, ketidakcukupan teknologi dan pembiayaan yang diperlukan untuk program pembangunan profesional di banyak sekolah mengehadkan keberkesanan ME sebagai alat pembelajaran.

Halangan ini bertambah serious dengan kawasan pedalaman, di mana jurang digital terus menghalang pertumbuhan melalui penggunaan teknologi pendidikan yang inovatif (Panja & Berge, 2021). Sebaliknya, walaupun mereka memberikan banyak bukti tentang nilainya dalam penglibatan murid, beberapa kajian telah membincangkan ME juga menghadapi cabaran apabila mengajar topik STEM lanjutan seperti kalkulus, kimia organik, atau robotik. Satu lagi jurang yang ketara melibatkan kebolehsuaian ME dalam pelbagai tetapan. Ini telah membawa kepada fokus yang sempit dalam penyelidikan semasa, terutamanya meneliti aplikasinya dalam tetapan yang mempunyai sumber tinggi dengan bukti minimum tentang kebolehindahan kerja ini ke dalam sekolah yang mempunyai sumber rendah. Kekurangan dalam penyelidikan sedemikian menghalang kebolehskalaan global ME sebagai penyelesaian untuk pendidikan STEM. Tambahan pula, penyelidikan menunjukkan bahawa gamifikasi meningkatkan motivasi dan penglibatan. Walau bagaimanapun, kajian seperti (Balasubramanian & Wilson, 2022) menunjukkan bahawa faedah ini adalah sensitif kepada konteks, bermakna penyepaduan semata-mata elemen permainan tidak membawa kepada peningkatan. Sebaliknya, keberkesanan bergantung kepada kualiti kemudahan guru. Ini sekali lagi membuktikan bahawa program latihan guru harus dapat membantu guru menggunakan alat pembelajaran gamifikasi yang berkesan ke tahap potensi sepenuhnya.

Keperluan Literasi Permainan Digital Guru Biologi

Kecekapan digital teknologi didefinisikan dalam tiga domain utama: pengetahuan, kemahiran afektif, dan kemahiran (Ferrari, 2012) yang menggunakan teknologi secara berkesan dalam menyelesaikan masalah dan mencipta penyelesaian dalam kehidupan seharian. (Ilomäki et al., 2016) juga menghuraikan kecekapan digital teknologi ini dalam pendidikan ialah kemahiran menyepadukan domain teknologi dan pengetahuan saintifik dalam aktiviti pengajaran. Pendek kata, kecekapan digital teknologi bagi guru bukan sekadar berdasarkan pemahaman asas tentang teknologi dan program computer tetapi melibatkan kefahaman penuh tentang pengetahuan, kebolehan dan sikap yang berkaitan dengan aspek digital, moral dan undang-undang (Althubyani, 2024). Kecekapan digital teknologi terutamanya permainan digital ini berfungsi sebagai alat yang berkuasa bagi guru dalam pengajaran biologi, terutamanya apabila menyepadukan konsep abstrak, memandangkan kurikulum biologi ini mempunyai hubungan yang kuat dengan teknologi melalui topik praktikal.

Usaha dan sokongan untuk integrasi teknologi ini diperlukan untuk meningkatkan kecekapan guru dalam menggunakan alatan digital dan memikirkan kaedah pengajaran dalam memacu pendidikan sains ke tahap yang lebih digital (Althubyani, 2024). Teknologi permainan digital memainkan peranan penting dengan menawarkan persekitaran pembelajaran yang menarik dan interaktif yang memupuk pembelajaran fleksibel, adaptif, dan jarak jauh. Kehadiran teknologi membolehkan murid memperoleh bahan saintifik terkini dengan mudah, sekali gus meningkatkan pengalaman pembelajaran mereka (Althubyani, 2024). (Ferrari, 2012) dan (Ilomäki et al., 2016) membentangkan asas teori kritikal kecekapan digital, dengan menekankan kaitan dengan pengetahuan, aspek afektif dan kemahiran yang diperlukan untuk penyelesaian masalah dan penglibatan dalam komuniti digital. Walau bagaimanapun, perbincangan oleh (Ferrari, 2012) dan (Ilomäki et al., 2016) kurang memberikan fokus praktikal, terutamanya dalam pelaksanaan kompetensi digital dalam pendidikan biologi untuk menangani cabaran bilik darjah yang sebenar. Fakta ini terbukti apabila (Althubyani, 2024) menekankan potensi besar teknologi dalam memupuk persekitaran kolaboratif dan interaktif untuk pengajaran sains knosep, penyelidik gagal menawarkan penyelesaian praktikal untuk menangani halangan struktur seperti latihan guru pra-perkhidmatan dan dalam perkhidmatan yang tidak mencukupi, ketersediaan alatan digital yang terhad dan keberatan untuk menerima pendekatan pedagogi baharu.

(Tai et al., 2022) menggariskan jurang kecekapan digital bagi guru, yang menggambarkan isu struktur dan sistemik yang mendalam dalam sistem pendidikan. Laporan (Khairy Jamaluddin, 2022) dan Kementerian Pendidikan Malaysia (2013) juga menyediakan data yang mengesahkan dapatan ini, mendedahkan bahawa hampir 8 daripada 10 guru menghabiskan masa kurang daripada satu jam seminggu untuk menyepadukan ICT ke dalam pengajaran mereka. Terdapat korelasi yang kuat antara trend skor pencapaian murid yang rendah dalam penilaian global seperti TIMSS dan PISA (Joseph, 2017), yang menunjukkan bahawa dunia pendidikan masih berwaspada dalam penggunaan teknologi digital. Walaupun kajian-kajian ini sering menemui isu utama dengan program atau kursus persediaan guru, program-program tersebut tidak selalunya melangkaui sekadar menyenaraikan kekurangan guru yang terlatih atau menyediakan bukti mengapa sesetengah latihan guru dan reka bentuk kursus tidak setaraf. Malah lebih jarang lagi mereka menawarkan penyelesaian praktikal kepada masalah yang ditemui dalam lebih 100 program untuk bakal guru atau beribu-ribu kursus pra-kolej.

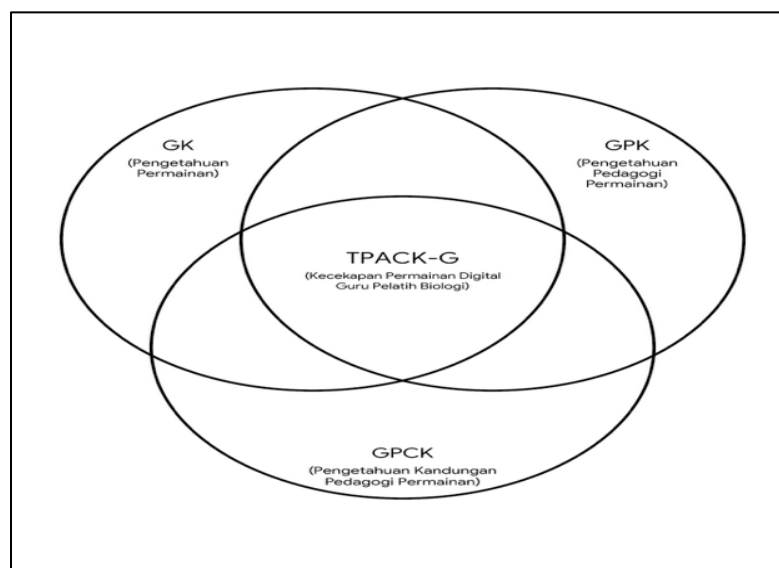
Dengan itu, kajian ini mencuba mengisi jurang ini dengan menerapkan literasi digital dalam pendidikan STEM terutamanya biologi dengan lebih mendalam. Kajian ini menyiasat peluang literasi permainan digital yang ada pada ME untuk menyediakan guru pelatih dengan kemahiran dan tahap keyakinan yang relevan yang diperlukan untuk penyepaduan teknologi tanpa kesukaran. Perspektif kritikal yang membimbing penyelidikan ini bukan sahaja mengenal pasti jurang dalam amalan tetapi juga membimbing penciptaan kerangka kerja baharu dan pembangunan profesional.

Pengetahuan Kandungan Pedagogi Teknologi-Permainan (TPACK-G)

Kajian ini berdasarkan kerangka TPACK-G (Hsu et al., 2013), sebagai asas teori kajian. Kajian ini menekankan integrasi ME untuk meningkatkan kecekapan permainan digital dalam kalangan guru pelatih biologi. Kerangka ini terdiri daripada GK, GPK, dan GPCK (Rajah 1). GK membentuk pengetahuan asas guru pelatih tentang cara menggunakan ME dalam pengajaran. GPK, membina kefahaman guru pelatih tentang ciri-ciri ME yang menyokong kaedah pengajaran. GPCK, yang merupakan peringkat yang paling tinggi dalam kerangka, menggunakan kaedah pedagogi yang sesuai dengan ME dalam membimbing murid memperoleh pengetahuan sains.

Pemilihan kerangka kerja TPACK-G dan fokus terhadap ME adalah teras kepada objektif kajian ini. Kerangka TPACK-G sangat sesuai untuk menangani persoalan kajian kerana ia menyediakan model berstruktur bagi menilai integrasi teknologi (permainan digital) ke dalam amalan pengajaran (Voithofer & Nelson, 2021). TPACK-G membantu mengenal pasti sejauh mana guru dapat menyepadukan pengetahuan permainan dengan pengetahuan pedagogi dan kandungan bagi menghasilkan hasil pembelajaran murid yang positif dalam STEM (Aktaş & Özmen, 2020) terutamanya biologi. Memandangkan penggunaan alatan digital ME semakin penting dalam pendidikan, baik dalam pengajaran mahupun STEM, TPACK-G menyediakan kerangka kerja holistik bagi menilai kesediaan guru dalam menggunakan alatan tersebut.

Rajah 1. Kerangka Kerja Pedagogi Teknologi-Permainan (TPACK-G)



GK merujuk kepada pengetahuan kemahiran asas menggunakan ME dalam melaksanakan pengajaran subjek biologi dalam bilik darjah (Subaveerapandiyan et al., 2022). Kemahiran asas ini termasuk pemahaman teknikal tentang platform ME dan kebolehan menggunakan pelbagai fungsi dan module ME secara bersesuaian secara berkesan. Asas GK juga termasuklah mengetahui cara mencari rancangan pelajaran dan aktiviti pengajaran dalam dunia Minecraft serta mempunyai gambaran mengenai permainan yang terdapat dalam ME. Guru mempelajari tentang operasi dan potensi ME dalam pengajaran biologi.

GPK memperluaskan GK (König et al., 2020) dan mendalami sokongan ME terhadap proses pengajaran. Pada tahap pengetahuan ini, fokus diberikan kepada ciri-ciri ME yang dapat berfungsi untuk meningkatkan penglibatan, kolaborasi, atau motivasi murid dalam bilik darjah melalui ME. Item-item ME yang boleh digunakan dalam meningkatkan pemahaman dan penglibatan manakala GPCK pula merupakan pengetahuan yang memerlukan guru untuk mengharmonikan pengetahuan teknikal dan pedagogi dengan pengetahuan kandungan subjek biologi. Sebagai contoh, dalam pendidikan biologi, GPCK bermaksud menggunakan ciri biologi dalam ME untuk menunjukkan system peredaran darah dengan menggunakan komponen *Redstone* dalam ME untuk mengajar peredaran darah dalam salur darah. Dalam GPCK, terdapat juga keperluan untuk guru sentiasa mengaitkan aktiviti ME ini kembali kepada standard kurikulum dan objektif pembelajaran supaya gamifikasi memacu pemerolehan kandungan yang mampan dan bermakna. Selain itu, integrasi elemen gamifikasi dalam pengajaran bukan sahaja meningkatkan motivasi intrinsik murid tetapi juga membantu guru dalam menstrukturkan penyampaian kandungan yang kompleks secara lebih interaktif. Dengan itu, kajian ini melalui bengkel pembangunan profesional dalam literasi digital teknologi dan penggunaan praktikal alatan ME, membolehkan guru menjadi yakin dalam menggunakan alatan ME dalam pengajaran dan pembelajaran biologi. Bukti kajian dapat menunjukkan peranan kritikal dalam melengkapkan guru pelatih secukupnya dengan penggunaan alatan ME yang berkesan dalam pendidikan biologi, serta memberikan asas untuk menunjukkan kerangka TPACK-G sebagai panduan pelaksanaan yang berpotensi.

Matlamat dan Persoalan Kajian

Kajian lepas banyak meneroka manfaat gamifikasi dan ME terhadap pembelajaran sains murid, namun terdapat jurang penyelidikan mengenai kesan alatan ini terhadap kecekapan permainan digital guru pelatih biologi. Kajian ini bertujuan untuk menangani jurang dengan menyiasat cara ME dapat menyumbang kepada peningkatan kecekapan digital teknologi dalam kalangan guru pelatih biologi. Oleh itu, objektif kajian ini adalah untuk memanfaatkan ciri-ciri potensi pendidikan dengan ME dalam mempromosikan kaedah pengajaran inovatif Biologi dalam kalangan guru pelatih Biologi.

Sehubungan itu, persoalan kajian bagi penyelidikan ini adalah seperti berikut:

1. Apakah perbezaan kecekapan digital teknologi dalam kalangan guru pelatih biologi sebelum dan selepas intervensi?
2. Apakah perbezaan dalam GK, GPK, dan GPCK bagi kecekapan digital teknologi guru biologi?

METODOLOGI

Peserta Kajian

Seramai 30 orang guru pelatih biologi telah mengambil bahagian dalam kajian ini. Memandangkan peserta berada di bawah institusi yang sama, beberapa langkah kawalan telah diambil untuk meminimumkan risiko *cross-contamination*. Peserta dipilih daripada kumpulan tutorial yang berbeza dan sesi bengkel dijalankan secara berasingan bagi setiap kumpulan. Selain itu, peserta diberikan taklimat ketat untuk tidak berkongsi maklumat, bahan pengajaran, atau reka bentuk Dunia Minecraft mereka dengan rakan pelatih lain sehingga keseluruhan tempoh ujian pasca tamat.

Kriteria penyertaan merangkumi guru pelatih yang sedang menjalani pengkhususan dalam pendidikan Biologi, telah melengkapkan sekurang-kurangnya satu fasa praktikum (latihan mengajar), serta mempunyai pengetahuan terhad mengenai alatan digital dan teknologi gamifikasi dalam pendidikan biologi. Kriteria pengecualian pula merangkumi guru pelatih yang mempunyai pengalaman profesional dalam pembangunan permainan video atau mereka yang pernah mengikuti latihan intensif ME di luar kurikulum rasmi universiti. Semua peserta mempunyai tahap kelayakan akademik yang setara (sedang mengikuti program Ijazah Sarjana Muda Pendidikan dalam Biologi), yang memastikan keseragaman latar belakang pendidikan dalam sampel kajian.

Instrumen Kajian

Kajian ini menggunakan Tinjauan Kecekapan Digital Guru yang telah diadaptasi kepada 18 item bagi menyiasat tahap kecekapan digital dalam kalangan guru pelatih Biologi. Instrumen ini diubah suai daripada item tinjauan *Technological Pedagogical Content Knowledge-Games* (TPACK-G) (Hsu et al., 2013), yang merangkumi tiga konstruk utama: Pengetahuan Permainan (GK), Pengetahuan Pedagogi Permainan (GPK) dan Pengetahuan Kandungan Pedagogi-Permainan (GPCK) (Jadual 1). Ujian pra dan ujian pasca telah ditadbir kepada guru pelatih Biologi pada permulaan dan akhir Bengkel Minecraft.

Jadual 1. Soalan Selidik

Skala	Bilangan Item	Julat Skor	Cronbach's Alpha
GK	6	1-5	.93
GPK	6	1-5	.93
GPCK	6	1-5	.91
Jumlah	18	18-90	

Setiap konstruk dalam instrumen ini terdiri daripada 6 item (menjadikan jumlah keseluruhan 18 item). Pembahagian ini bertujuan untuk memberikan penilaian yang lebih khusus dan padat terhadap keyakinan guru pelatih dalam mengintegrasikan ME ke dalam pengajaran Biologi. Bagi memastikan instrumen ini sesuai dengan konteks guru pelatih, item-item tersebut telah disahkan oleh pakar untuk memastikan kesahan kandungan. Memandangkan jumlah item telah dikurangkan daripada instrumen asal, nilai kebolehpercayaan yang dilaporkan dalam kajian rintis bagi 18 item ini menunjukkan tahap ketekalan dalaman yang tinggi (> 0.80), sekali gus membuktikan bahawa instrumen ini sangat reliabel untuk menilai keyakinan guru pelatih terhadap kerangka TPACK-G.

Prosedur

Seramai 30 orang guru pelatih biologi yang menyertai kajian ini dikehendaki melaksanakan satu projek rancangan pengajaran berasaskan ME yang perlu disiapkan dalam tempoh lima minggu. Pada peringkat awal, para peserta perlu menyelidik pelbagai permainan sedia ada di dalam platform ME yang mempunyai perkaitan dengan topik Biologi, seterusnya menjalankan analisis mendalam terhadap ciri dan kriteria ME yang mampu menyokong keberkesanan pembelajaran. Berdasarkan analisis tersebut, setiap guru pelatih dikehendaki membangunkan satu rancangan pengajaran yang menyepadukan konsep biologi dengan ME dan seterusnya membina sebuah "Dunia Minecraft" yang khusus bagi menggambarkan topik Biologi yang dipilih. Bagi menyokong kelancaran projek, pengajar memberikan taklimat komprehensif pada fasa permulaan serta menyediakan sumber rujukan penting seperti templat RPH dan kaedah integrasi STEM khusus dalam konteks pendidikan Biologi.

Setiap projek yang dihasilkan wajib menerapkan elemen STEM secara holistik dalam proses pengajaran dan pembelajaran. Dalam aspek Sains, guru pelatih perlu menerangkan konsep biologi seperti struktur sel, sistem organ, atau aliran tenaga dalam ekosistem melalui persekitaran maya, manakala aspek Teknologi pula melibatkan penggunaan ME untuk membina aplikasi atau simulasi interaktif bagi menggambarkan konsep yang abstrak. Elemen Kejuruteraan diterapkan melalui reka bentuk projek yang memerlukan penyelesaian masalah teknikal di dalam dunia Minecraft, manakala elemen Matematik digunakan bagi mengukur skala binaan, pergerakan blok, atau nisbah sumber yang digunakan. Sebelum intervensi dimulakan, satu ujian pra yang mengandungi 18 item telah dijalankan bagi menentukan tahap kecekapan digital teknologi awal peserta, dan ujian pasca dengan set soalan yang sama ditadbir semula selepas tempoh lima minggu bagi menilai peningkatan kecekapan tersebut. Prosedur kajian ini diakhiri dengan sesi bengkel di mana para guru pelatih dikehendaki membentangkan hasil "Dunia Minecraft" dan rancangan pengajaran yang telah dibangunkan.

Analisis Data

Dua jenis ujian statistik telah digunakan untuk menguji hipotesis kajian ini: (a) ujian-t sampel berpasangan, dan (b) ANOVA ukuran berulang.

Pertama, ujian-t sampel berpasangan dijalankan untuk membandingkan min kecekapan digital teknologi bagi tempoh ujian yang berbeza (ujian pra dan ujian pasca) bagi kumpulan guru pelatih Biologi tersebut. Data deskriptif seperti bilangan (n), peratusan min, dan sisihan piawai bagi ujian pra dan ujian pasca dihitung bagi kumpulan pemboleh ubah bersandar ini. Langkah ini adalah penting untuk menguji hipotesis nol serta menentukan sama ada wujud perbezaan signifikan antara skor ujian pra dan ujian pasca dalam kalangan guru pelatih Biologi.

Kedua, ANOVA ukuran berulang diaplikasikan walaupun kajian ini hanya melibatkan satu kumpulan peserta. ANOVA ukuran berulang ini bertujuan untuk menyiasat kemungkinan perbezaan peratusan kecekapan digital teknologi antara tiga komponen utama iaitu GK, GPK, dan GPCK. Statistik deskriptif dijalankan untuk menentukan perbezaan kecekapan digital bagi setiap konstruk tersebut. Oleh itu, langkah kedua ini memfokuskan kepada pelaksanaan ujian susulan bagi menjelaskan perbezaan yang wujud dalam ujian kecekapan digital serta konstruk GK, GPK, dan GPCK. Kaedah ini membolehkan pengujian hipotesis mengenai kesan ME dalam meningkatkan kecekapan digital bagi aspek GK, GPK, dan GPCK secara serentak.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Keberkesanan Bengkel Minecraft terhadap Kecekapan Permainan Digital (Soal Kajian 1)

Dalam menjawab soalan kajian pertama, ujian-t sampel berpasangan dijalankan. Tinjauan kecekapan permainan digital guru yang dijalankan sebelum dan selepas intervensi memberikan bukti yang mencukupi bagi menunjukkan bahawa ME dapat membantu meningkatkan kecekapan digital bakal guru (Gutiérrez et al., 2017). Jadual 1 menunjukkan statistik sampel berpasangan bagi ujian pra dan ujian pasca bagi instrumen kecekapan digital yang mengandungi 18 item tersebut.

Jadual 2. Statistik Sampel Berpasangan

Tahap Ujian	Min	N	Sisihan Piawai	Ralat Piawai Min
Ujian Pra	55.67	30	13.68	2.50
Ujian Pasca	73.39	30	5.35	0.98

Dalam ujian pra kecekapan permainan digital bagi 30 orang guru pelatih Biologi, skor min yang dicatatkan ialah 55.67. Sisihan piawai ialah 13.68, yang menunjukkan tahap kebolehubahan skor yang sederhana dalam kalangan guru pelatih biologi. Sebelum intervensi, tahap kecekapan digital guru pelatih biologi berada pada tahap sederhana (55.67), di mana ramai menghadapi kesukaran untuk menyepadukan teknik gamifikasi ke dalam pendidikan biologi. Penggunaan ME dalam pengajaran biologi merupakan perkara baharu bagi guru pelatih biologi, dan mereka pada mulanya mendapati sukar untuk menerapkan teknik gamifikasi serta menyepadukan ME ke dalam pendidikan biologi (Becker & Park, 2011). Ujian pra mendedahkan cabaran yang dihadapi dalam memahami dan melaksanakan ME, seperti yang ditunjukkan oleh skor min yang rendah. Konsep aplikasi ME dalam rancangan pengajaran masih belum jelas bagi kebanyakan guru pelatih biologi, selain kurang keyakinan untuk mengajar konsep sains menggunakan ME. Nilai sisihan piawai yang tinggi (13.68) menunjukkan variasi yang ketara dalam kecekapan digital peserta terhadap ME.

Bagi ujian pasca pula, skor min meningkat kepada 73.39 dengan sisihan piawai 5.35. Nilai sisihan piawai yang lebih kecil pada ujian pasca menunjukkan taburan skor yang lebih konsisten berbanding ujian pra. Perbandingan antara kedua-dua ujian menunjukkan min ujian pasca (73.39) adalah jauh lebih tinggi daripada min ujian pra (55.67) (Jadual 2). Terdapat peningkatan yang signifikan dalam kecekapan permainan digital secara keseluruhan, dengan skor min meningkat sebanyak 17.72 selepas mengikuti bengkel *Minecraft* (Jadual 2) menunjukkan bahawa guru pelatih biologi telah mencapai tahap kompetensi yang tinggi dalam tempoh intervensi selama lima minggu. Melalui penglibatan aktif dalam membina "Dunia Minecraft", guru pelatih berjaya melepasi halangan teknikal dan mencapai tahap kecekapan tinggi (73.39) selepas Bengkel *Minecraft* (Jadual 2). Ini selaras dengan pandangan bahawa pengalaman

imersif dalam permainan digital dapat memperkuat literasi digital dan pedagogi guru secara holistik.

Hasil kajian ini memberikan bukti statistik yang kukuh bahawa intervensi melalui Bengkel *Minecraft* telah berjaya meningkatkan kecekapan permainan digital dalam kalangan guru pelatih biologi secara signifikan. Tahap pasca ujian yang tinggi ini membuktikan bahawa persekitaran pembelajaran yang imersif dan interaktif berupaya mengatasi halangan awal guru pelatih terhadap teknologi. Hasil ini menyokong teori bahawa pengalaman langsung (*hands-on*) dalam membangunkan projek "Dunia Minecraft" bertema Biologi membantu membina keyakinan diri yang lebih tinggi berbanding latihan teori semata-mata (Gutiérrez et al., 2017). Saiz kesan (*effect size*) yang sangat besar ($d = -3.32$) mengukuhkan lagi hujah bahawa bengkel ini mempunyai signifikansi praktikal yang tinggi dalam menyediakan bakal guru untuk sekolah digital.

Nilai *Cohen's d* sebanyak -17.72 menunjukkan saiz kesan yang sangat besar dan memberikan signifikansi praktikal terhadap perbezaan antara skor ujian pra dan ujian pasca. Tanda negatif menunjukkan bahawa min kumpulan kedua (ujian pasca) adalah lebih besar daripada min kumpulan pertama (ujian pra), sekali gus membuktikan peningkatan prestasi yang substansial selepas intervensi dilakukan. Dapatan ini selari dengan kajian (Gutiérrez et al., 2017) yang menyatakan bahawa bengkel pembangunan profesional yang berasaskan permainan dapat melonjakkan literasi digital pendidik. Sebelum intervensi, guru pelatih berada pada tahap sederhana dan sering menghadapi kesukaran untuk menyepadukan teknik gamifikasi ke dalam pengajaran konsep biologi. Namun, melalui proses mereka bentuk "Dunia Minecraft" yang khusus untuk topik Biologi, peserta berjaya membina keyakinan diri yang lebih tinggi, yang dicerminkan melalui penurunan nilai sisihan piawai daripada 13.68 kepada 5.35 pada ujian pasca (Jadual 2), menandakan tahap penguasaan yang lebih konsisten dalam kalangan peserta.

Ujian-t sampel berpasangan telah dijalankan untuk menganalisis keberkesanan bengkel *Minecraft* menggunakan ME dalam meningkatkan kecekapan digital dalam kalangan guru pelatih Biologi (Jadual 3). Keputusan analisis menunjukkan peningkatan yang signifikan secara statistik bagi tahap kecekapan digital peserta antara ujian pra dan ujian pasca.

Jadual 3. Keputusan Ujian-t Sampel Berpasangan

Perbezaan Pasangan	Min Perbezaan	SD	Ralat Piawai Min	t	df	Sih (2-hujung)
Ujian Pra-Ujian Pasca	-17.72	16.38	2.99	-5.92	29	.00

Berdasarkan Jadual 2, terdapat perbezaan yang signifikan antara ujian pra ($M = 55.67$, $SD = 13.68$) dan ujian pasca ($M = 73.39$, $SD = 5.35$). Nilai t (29) = -5.92, $p < .001$ mengesahkan bahawa peningkatan ini adalah hasil langsung daripada pendedahan berstruktur kepada platform ME dan bukan berlaku secara rawak. Berdasarkan output pada Jadual 3, min perbezaan antara jumlah skor ujian pra dan ujian pasca bagi kecekapan permainan digital ialah -17.72. Ini menunjukkan bahawa secara purata, guru pelatih biologi memperoleh skor 17.72 mata lebih tinggi dalam ujian pasca berbanding ujian pra. Nilai t yang dicatatkan ialah -5.92 dengan darjah kebebasan (df) sebanyak 29.

Memandangkan nilai- p (p -value) adalah kurang daripada .05 ($p < .05$), hipotesis nol ditolak. Saiz kesan yang dikira melalui *Cohen's d* (-3.32) menunjukkan impak yang sangat besar, menandakan peningkatan skor sebanyak 17.72 mata adalah sangat ketara dan mempunyai kepentingan praktikal dalam konteks latihan guru. Peningkatan ini menunjukkan bahawa guru pelatih bukan sahaja memperoleh kemahiran teknikal, malah berjaya menguasai ekosistem ME secara holistik. Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa terdapat perbezaan yang signifikan secara statistik antara jumlah skor ujian pra dan ujian pasca. Hal ini menunjukkan bahawa intervensi Bengkel *Minecraft* menggunakan ME memberikan impak positif terhadap prestasi keseluruhan kecekapan digital guru pelatih biologi. Keputusan ini memberikan bukti kukuh bahawa guru pelatih biologi menunjukkan prestasi yang jauh lebih baik dalam pengintegrasian teknologi selepas mengikuti program latihan tersebut.

Peningkatan Kecekapan Permainan Digital dalam GK, GPK dan GPCK (Soalan Kajian 2)

Bagi menjawab Persoalan Kajian 2, ANOVA ukuran berulang dijalankan untuk membandingkan skor ujian pra dan pasca bagi tiga komponen kecekapan digital (Jadual 5). Analisis ANOVA ukuran berulang dijalankan untuk meneliti perubahan dalam kecekapan digital dalam kalangan guru pelatih Biologi dari ujian pra ke ujian pasca merentasi tiga komponen utama. [Jadual 4](#) memaparkan ujian multivariat bagi ANOVA ukuran berulang ke atas kumpulan yang terdiri daripada 30 orang guru pelatih Biologi, manakala Jadual 6 menunjukkan ujian kontras dalam subjek.

Jadual 4. Statistik Deskriptif bagi Komponen GK, GPK dan GPCK

Konstruk	Ujian Pra		Ujian Pasca	
	Min	Sisihan Piawai	Min	Sisihan Piawai
GK	18.90	3.63	22.86	2.51
GPK	17.34	4.70	25.94	2.67
GPCK	19.43	7.06	25.32	2.31

Hasil analisis menunjukkan wujud perbezaan yang signifikan secara statistik bagi ketiga-tiga konstruk kecekapan permainan digital (GK, GPK, dan GPCK). Walaupun ketiga-tiga domain mencatatkan peningkatan, corak pertumbuhannya adalah berbeza, yang memberikan gambaran tentang bagaimana guru pelatih biologi memproses teknologi gamifikasi.

GK menunjukkan peningkatan terkecil (18.90 kepada 22.86) ([Jadual 4](#)), ia tetap signifikan. Ini menunjukkan bahawa guru pelatih telah melepasi fasa "kerisauan teknikal" dan bergerak ke arah fasa penggunaan yang lebih bermakna. Tahap keyakinan ini mempengaruhi kebolehan mereka untuk menggunakan ME dalam pengajaran sains secara berjaya ([Angeli & Valanides, 2009](#)). Peningkatan yang dominan dapat diperhatikan dalam GPK. GPK mencatatkan lonjakan paling tinggi, iaitu sebanyak 8.60 (17.34 kepada 25.94). Ini menunjukkan bahawa guru pelatih mengalami anjakan paradigma yang besar dalam memahami bagaimana mekanik permainan boleh digunakan untuk menyokong kolaborasi dan penyelesaian masalah di dalam bilik darjah. Keupayaan guru pelatih ini melihat ME sebagai alat instruksional, dan bukannya sekadar permainan video, adalah kunci kepada kejayaan ini ([Mishra & Koehler, 2006](#)). Guru pelatih ini menjadi lebih mahir dalam mengintegrasikan ME ke dalam pengajaran dan mempercayai keberkesanan kaedah gamifikasi dalam subjek biologi. Bagi guru pelatih biologi, komponen GPCK adalah kritikal. Peningkatan daripada 19.43 kepada 25.32 menunjukkan keupayaan guru pelatih biologi untuk menterjemah topik abstrak Biologi seperti kitaran tenaga atau struktur anatomi ke dalam bentuk simulasi interaktif.

Pengurangan sisihan piawai yang drastik dalam GPCK (2.31) selepas intervensi membuktikan bahawa bengkel tersebut berjaya menyeragamkan kecekapan guru pelatih, sekaligus menghapuskan jurang perbezaan keupayaan yang ketara sebelum ini. Guru pelatih telah meningkatkan kefahaman mereka secara seragam tentang cara menyepadukan pedagogi yang sesuai dengan alatan digital (Markandan et al., 2022).

Semua min ujian pra bagi GK, GPK, dan GPCK adalah lebih rendah daripada min ujian pasca yang sepadan, yang menunjukkan potensi peningkatan skor yang besar selepas intervensi dilakukan. Ujian pra bagi GPCK mencatatkan sisihan piawai tertinggi (7.06) (Jadual 4), menunjukkan julat skor yang lebih luas bagi pemboleh ubah ini berbanding yang lain. Sebaliknya, semua min ujian pasca bagi GK, GPK, dan GPCK adalah lebih tinggi daripada min ujian pra, yang memperkukuhkan lagi impak positif intervensi Bengkel *Minecraft* dengan ME. Ujian pasca bagi GK menunjukkan sisihan piawai terendah, yang mencadangkan kebolehubahan skor yang lebih kecil berbanding pemboleh ubah ujian pasca yang lain. Secara keseluruhan, terdapat peningkatan skor dari ujian pra ke ujian pasca bagi ketiga-tiga bidang tersebut. Kebolehubahan skor adalah berbeza-beza merentasi pemboleh ubah, di mana ujian pra bagi GPCK menunjukkan kebolehubahan tertinggi dalam kedua-dua ujian pra dan pasca.

Jadual 5. Ujian Multivariat (Anova Ukuran Berulang)

Kesan	Nilai	F	Df hipotesis	Df Ralat	Sig.	Eta Kuasa Separa
Masa	.760	38.10	3.00	27.00	.00	.76

Selain itu, ujian univariat turut mengesahkan perbezaan yang signifikan antara ujian pra dan ujian pasca bagi ketiga-tiga komponen utama, iaitu GK, GPK, dan GPCK, dengan nilai-p direkodkan pada .000 bagi setiap konstruk (Table 5). ANOVA ukuran berulang menunjukkan kesan utama masa yang kuat, yang bermaksud keseluruhan kompetensi digital peserta meningkat secara drastik (Jadual 5) (Koehler et al., 2014). Analisis terperinci menunjukkan bahawa komponen GK mencatatkan peningkatan yang signifikan dengan nilai $F(1, 29) = 23.50$, $p < .001$ serta saiz kesan sebanyak .38. Penguasaan GK memastikan guru merasa selesa dan yakin di hadapan murid, sekaligus mengurangkan "kebimbangan teknologi" semasa sesi pengajaran sebenar di sekolah kelak. Tanpa kemahiran menavigasi dunia *Minecraft*, guru pelatih akan menghadapi kekangan untuk melaksanakan aktiviti biologi yang lebih kompleks.

Peningkatan yang paling ketara diperhatikan dalam komponen GPK, di mana nilai $F(1, 29) = 85.96$, $p < .001$, dicatatkan dengan saiz kesan yang besar iaitu .69 (Jadual 6). Ini membuktikan bahawa guru pelatih biologi tidak lagi melihat *Minecraft* sekadar alat permainan, sebaliknya telah menguasai kaedah untuk menguruskan dinamika bilik darjah melalui gamifikasi. Dalam pengajaran biologi, keupayaan GPK membolehkan guru merancang aktiviti kolaboratif yang mencabar, seperti "misi mencari" bahan organik dalam dunia maya, yang secara langsung meningkatkan penglibatan aktif murid berbanding kaedah syarahan tradisional.

Akhir sekali, komponen GPCK turut menunjukkan perbezaan signifikan yang tekal dengan nilai $F(1, 29) = 21.85$, $p < .001$ dan saiz kesan sebanyak .37. Bagi subjek Biologi, banyak konsep yang bersifat mikroskopik atau abstrak, seperti struktur DNA, pembahagian sel atau aliran tenaga dalam ekosistem. Melalui penguasaan GPCK, guru pelatih kini mampu membina simulasi 3D yang membolehkan murid "berjalan" di dalam sel atau meneroka rantai makanan secara visual. Penurunan sisihan piawai kepada 2.31 pada ujian pasca (Jadual 4) menunjukkan bahawa bengkel ini berjaya

menyeragamkan keupayaan guru pelatih dalam menterjemah silibus Biologi yang kompleks ke dalam bentuk digital yang mudah difahami. Contoh yang paling ketara ialah seorang guru pelatih Biologi yang menggunakan ME untuk menggambarkan sistem ekologi, yang membolehkan murid memvisualisasikan serta meneroka rantai makanan dan pemindahan tenaga melalui representasi visual interaktif. Latihan amali ini memainkan peranan penting dalam membekalkan guru pelatih dengan keyakinan untuk menyepadukan alatan digital ke dalam pengajaran STEM antara disiplin.

Jadual 6. Ujian Kesan Dalam-Subjek (Univariat)

Sumber	Konstruk	Df	F	Sig.	Eta Kuasa Separa
Masa	GK	1	23.50	.00	.38
	GPK	1	85.96	.00	.69
	GPCK	1	21.85	.00	.37
Ralat	GK	29			
	GPK	29			
	GPCK	29			

Kesimpulannya, dapatan ini membuktikan bahawa intervensi yang dijalankan memberikan impak positif yang menyeluruh terhadap semua domain kecekapan permainan digital guru pelatih biologi, terutamanya dalam aspek pedagogi permainan. Perbezaan prestasi merentasi ketiga-tiga komponen ini membuktikan bahawa kerangka TPACK-G berfungsi secara sinergi. Ketiga-tiga komponen kecekapan digital menunjukkan kesan yang signifikan, dengan GPK mencatatkan perbezaan skor min yang paling besar. Pengalaman pembelajaran yang menyeronokkan dalam bengkel ini mengukuhkan GK dan GPK guru pelatih, yang seterusnya menyumbang kepada GPCK (Bebell et al., 2010). Ini menunjukkan guru pelatih berasa lebih yakin menggunakan ME sebagai alat pedagogi. Transformasi ini sebahagian besarnya berpunca daripada pengalaman gamifikasi imersif dalam ME yang menjadikan konsep biologi yang abstrak lebih nyata dan mudah dikaitkan dengan kehidupan sebenar. GPCK merupakan bidang penambahbaikan yang sangat menonjol kerana ia mencerminkan kemahiran guru dalam menyepadukan alatan berasaskan permainan dengan pengetahuan kandungan untuk menghasilkan pengajaran yang bermakna. Ini membuktikan bahawa ME memberikan impak positif, membolehkan guru merangka rancangan pengajaran interaktif serta menggunakan ciri pencarian permainan digital dalam ME untuk menerangkan konsep sains (GoE-Craft, 2020) Tahap GK, GPK, dan GPCK yang mencukupi membolehkan guru merancang pengajaran yang selaras dengan objektif pembelajaran (Angeli & Valanides, 2009).

Kesimpulan

Kajian ini telah berjaya menilai keberkesanan intervensi melalui Bengkel *Minecraft* dalam meningkatkan kecekapan permainan digital dari segi GK, GPK, dan GPCK dalam kalangan guru pelatih Biologi. Secara keseluruhannya, integrasi platform ME terbukti memberikan impak positif yang signifikan terhadap kesediaan teknologi bakal pendidik dalam mendepani cabaran pendidikan STEM abad ke-21. Guru pelatih bukan sahaja memperoleh kemahiran teknikal, malah berjaya menguasai strategi penyepaduan permainan digital ke dalam kandungan silibus Biologi yang kompleks. Peningkatan signifikan dalam ketiga-tiga komponen kecekapan digital dalam kalangan guru pelatih Biologi menegaskan keberkesanan intervensi ini. Dapatan ini mempunyai implikasi penting terhadap pendidikan guru dan latihan pembangunan profesional. Dengan menyerap strategi yang memfokuskan kepada GK, GPK, dan GPCK, program latihan perguruan dapat melengkapkan bakal guru dengan lebih baik untuk memanfaatkan alatan digital bagi meningkatkan pembelajaran murid.

Walaupun kajian ini memberikan pandangan penting, ia harus dilihat berdasarkan beberapa kekangan. Dapatan ini mencerminkan sampel guru pelatih Biologi; oleh itu, kebolehumuman dapatan harus diuji dalam konteks pendidikan dan populasi guru yang lain. Penyelidikan masa depan boleh menilai faktor lain seperti motivasi intrinsik guru, sokongan luaran, serta dasar organisasi. Selain itu, kajian lanjut boleh menilai cara kurikulum STEM menggunakan ME secara lebih meluas. Bagi menangani cabaran pelaksanaan ME, adalah disyorkan agar program latihan yang disesuaikan dibangunkan untuk memenuhi pelbagai tahap kecekapan digital pendidik, di samping meningkatkan pembiayaan dan sokongan infrastruktur bagi memudahkan penerimaan ME di sekolah.

RUJUKAN

- Ahmad, S., Umirzakova, S., Mujtaba, G., Amin, M. S., & Whangbo, T. (2023). *Education 5.0 requirements, enabling technologies, and future directions*. arXiv preprint arXiv:2307.15846. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.15846>
- Aktaş, İ., & Özmen, H. (2020). Investigating the impact of TPACK development course on pre-service science teachers' performances. *Asia Pacific Education Review*, 21(4), 667–682. <https://doi.org/10.1007/s12564-020-09653-x>
- Althubayani, A. R. (2024). Digital competence of teachers and the factors affecting their competence level: A nationwide mixed-methods study. *Sustainability*, 16(7), 2796. <https://doi.org/10.3390/su16072796>
- Angeli, C., & Valanides, N. (2009). Online teaching, the TPACK framework and the development of a new approach. *Educational Media International*, 46(4), 343–352. <https://doi.org/10.1080/09523980903340857>
- Baek, Y., Min, E., & Yun, S. (2020). Mining educational implications of Minecraft. *Computers in the Schools*, 37(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/07380569.2020.1719802>
- Balasubramanian, N., & Wilson, R. (2022). Exploring the role of gamified learning in STEM education. *Journal of Digital Education and Technology Integration*, 14(2), 89–102.
- Bebell, D., O'Dwyer, L., Russell, M., & Suchman, C. (2010). Examining the influence of technology on the teaching and learning of mathematics: A study of Massachusetts mathematics teachers. *Journal of Educational Computing Research*, 42(3), 309–329. <https://doi.org/10.2190/EC.42.3.e>
- Becker, K., & Park, K. (2011). The effectiveness of technology in K–12 classrooms. *Educational Technology Research and Development*, 59(3), 395–410.
- Bertrand, M., & Namukasa, I. (2020). Enhancing STEM education through Minecraft. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 36(3), 137–146.
- Ferrari, A. (2012). *Digital competence in practice: An analysis of frameworks*. European Commission Joint Research Centre.
- GoE-Craft. (2020). *Minecraft Education: Enhancing classroom teaching*. GoE-Craft Press.
- Gutiérrez, K. D., Cwik, M. S., & George, D. A. (2017). Rethinking educational technology through a sociocultural lens: Toward a radical pedagogy of technological integration. *Journal of Educational Technology & Society*, 20(3), 87–99.
- Hsu, Y. S., Ching, Y. H., & Grabowski, B. L. (2013). Game-based learning: Latest evidence and future directions. *Educational Technology & Society*, 16(4), 28–38.
- Ilomäki, L., Kantosalo, A., & Lakkala, M. (2016). Digital competence – An emergent boundary concept for policy and educational research. *Education and Information Technologies*, 21(3), 655–679. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9346-4>
- Joseph, C. (2017). Declining performance in TIMSS and PISA: A critical review of Malaysia's education system. *Asian Education Review*, 12(2), 45–60.
- Khairy Jamaluddin Report. (2022). *State of education and digital literacy in Malaysia*. Ministry of Higher Education Malaysia.

- Koehler, M. J., Mishra, P., & Yahya, K. (2014). Tracing the development of teachers' technology integration knowledge: A decade of TPACK. *Computers & Education*, 61, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.07.004>
- König, J., et al. (2020). General pedagogical knowledge, pedagogical adaptivity in written lesson plans, and instructional practice among preservice teachers. *Journal of Curriculum Studies*, 52(6), 800–822. <https://doi.org/10.1080/00220272.2020.1752804>
- Markandan, N., Osman, K., & Halim, L. (2022). Integrating computational thinking and empowering metacognitive awareness in STEM education. *Frontiers in Psychology*, 13, 872593. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.872593>
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- Nebel, S., Schneider, S., & Rey, G. D. (2015). Mining learning and crafting scientific experiments: A literature review on the use of Minecraft in education and research. *Educational Technology & Society*, 18(2), 75–86. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.19.2.355>
- Panja, A., & Berge, Z. L. (2021). Game-based learning in STEM education: A critical review of Minecraft's educational potential. *Educational Media International*, 58(4), 249–269.
- Papadakis, S. (2020). Evaluating a game-development approach to teach introductory programming concepts in secondary education. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 12(2), 127–145.
- Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2019). Evaluating the effectiveness of a game-based learning approach in modifying students' behavioural outcomes and competence in an introductory programming course. *International Journal of Teaching and Case Studies*, 10(3), 235–250.
- Papert, S. (1993). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Roehrig, G. H., Dare, E. A., & Ring-Whalen, E. (2021). Understanding coherence and integration in integrated STEM curriculum. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00259-8>
- Subaveerapandiyar, A., & Dharmavarapu, S. (2022). Knowledge management skills for 21st-century library professionals in India: A study. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2210.11266>
- Subhash, S., & Cudney, E. A. (2018). Gamified learning in higher education: A systematic review of the literature. *Computers in Human Behavior*, 87, 192–206. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.05.028>
- Smiderle, R., Rigo, S. J., Marques, L. B., Peçanha de Miranda Coelho, J. A., & Jaques, P. A. (2020). The impact of gamification on students' learning, engagement and behavior based on their personality traits. *Smart Learning Environments*, 7(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0098-x>
- Squire, K. (2011). *Video games and learning: Teaching and participatory culture in the digital age*. Teachers College Press.
- Tai, J., Canny, B., Haines, T., & Molloy, E. (2022). Sustaining digital innovation in education: Teachers' proficiency challenges. *Journal of Educational Technology*, 45(5), 123–139.
- Tai, J., Hu, X., & Kim, T. (2022). Enhancing teacher digital literacy for STEM education: A meta-analysis of professional development programs. *Computers & Education*, 176, 104353. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104353>
- Tan, W. L. (2024). Gamifying science education: Minecraft Education boosts teachers' digital proficiency in STEM education. *International Journal of Education, Psychology and Counseling*, 9(56), 250–268. <https://doi.org/10.35631/IJEPC.956016>

Voithofer, R., & Nelson, M. J. (2021). Teacher educator technology integration preparation practices around TPACK in the United States. *Journal of Teacher Education*, 72(3), 314–328. <https://doi.org/10.1177/0022487120949842>

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan sokongan dan kerjasama sepanjang penyelidikan ini dijalankan. Ucapan terima kasih yang tulus ditujukan kepada 30 orang guru pelatih biologi atas penyertaan aktif, komitmen, dan kesungguhan yang diberikan sepanjang penglibatan mereka dalam bengkel *Minecraft Education*. Penghargaan juga dirakamkan kepada Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan, Universiti Sains Malaysia atas sokongan kemudahan fasiliti yang disediakan. Akhir sekali, terima kasih kepada rakan-rakan sejawat yang telah memberikan pandangan serta teguran membina bagi memantapkan kualiti penulisan artikel ini.

PENGISYTIHARAN KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis mengisytiharkan bahawa tiada sebarang konflik kepentingan yang wujud, sama ada dari sudut kewangan, peribadi, mahupun profesional, yang boleh dilihat sebagai berat sebelah atau mempengaruhi objektiviti dan dapatan kajian ini. Penulisan ini adalah hasil usaha penyelidikan penulis sendiri tanpa melibatkan sebarang bentuk pembiayaan atau tajaan daripada pihak berkepentingan luar.

PENULIS

PENULIS

Dr. Tan Wee Ling merupakan pensyarah dalam bidang Pendidikan Biologi di Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan, Universiti Sains Malaysia. Bidang kepakaran dan tumpuan kajian beliau adalah berkaitan pendidikan STEM digital, gamifikasi dan pembelajaran berasaskan permainan (khususnya Minecraft Education), serta penerapan AI dalam pengajaran dan pembelajaran. Beliau juga aktif membimbing serta melatih guru melalui bengkel dan program pembangunan profesional, di samping menjalankan penyelidikan yang memfokuskan kemahiran abad ke-21 dan inovasi pedagogi, ORCID: 0009-0003-9114-7592 dan email address: tanweeling@usm.my