

Kerangka Mekanisme Adaptif Bagi Integrasi Pembelajaran Berasaskan Permainan Digital Dalam Pendidikan Matematik Sekolah Menengah (MIAD-M)

Norshah Rozaifah Mohamad ^{1*} and Mohd Jasmy Abd Rahman ²

^{1,2} Fakulti Pendidikan, Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malaysia

ABSTRAK

Transformasi digital dalam pendidikan Matematik menuntut pengintegrasian pedagogi yang inovatif dan mampan, selaras dengan hasrat Dasar Pendidikan Digital (DPD) negara. Walau bagaimanapun, pelaksanaan Pembelajaran Berasaskan Permainan Digital (Digital Game-Based Learning, DGBL) di bilik darjah sering kali berhadapan dengan kekangan multidimensi yang merangkumi isu beban kognitif luaran murid, kekangan kompetensi pedagogi dan masa guru, serta isu ketidakstabilan infrastruktur digital sekolah. Justeru, kertas konsep ini bertujuan mengemukakan Kerangka Mekanisme Adaptif bagi Integrasi Pembelajaran berasaskan Permainan Digital dalam Pendidikan Matematik Sekolah Menengah (MIAD-M) sebagai satu kerangka konseptual yang holistik bagi memperkasakan pengajaran dan pembelajaran Matematik sekolah menengah dalam era digital. Kerangka ini dibangunkan melalui pendekatan analisis literatur naratif serta sintesis konseptual terhadap kajian empirikal global yang diterbitkan antara tahun 2022 hingga 2026. Secara strukturnya, MIAD-M menyepadukan empat Teras Integrasi Pedagogi-Permainan, iaitu Serious Educational Games (SEGs), Persekitaran Pembelajaran Imersif (AR/VR), Gamifikasi, dan Constructionist Gaming yang dipetakan secara fungsional mengikut keperluan topik-topik Matematik sekolah menengah. Nilai kebaruan (novelty) utama kerangka ini terletak pada komponen Sistem Adaptasi dan Sokongan Multidimensi yang merangkumi tiga elemen kuncinya: protokol sokongan kognitif bagi pengurusan keseimbangan cabaran-kemahiran, sokongan pedagogi melalui pendekatan modular "TPACK-Lite" sepanjang 10 hingga 15 minit, serta sokongan teknikal berasaskan seni bina sandaran. Pembinaan kerangka MIAD-M ini memberikan sumbangan teori yang penting melalui gabungan pelbagai teori pembelajaran digital. Selain itu, ia menyediakan panduan praktikal yang mampan, mudah diperluas, dan kos efektif untuk pendidik, pembangun EdTech, serta pembuat dasar dalam menjayakan transformasi digital yang lebih inklusif dan dinamik.

SEJARAH ARTIKEL

Peroleh 22 Jun 2026
Semakan 26 Julai 2026
Terima 27 Julai 2026
Online First 27 Julai 2026
Published 02 Oktober 2026

KATA KUNCI

Kerangka MIAD-M;
Pembelajaran Berasaskan
Permainan Digital (DGBL);
Matematik Sekolah
Menengah; Kerangka
Konseptual; Era Digital

An Adaptive Mechanism Framework For Integrating Digital Game-Based Learning In Secondary Mathematics Education (Miad-M)

ABSTRACT

Digital transformation in Mathematics education demands innovative and sustainable pedagogical integration, in line with the aspirations of the national Digital Education Policy (DPD). However, implementing Digital Game-Based Learning (DGBL) in classrooms often faces multidimensional constraints, including students' extraneous cognitive load, teachers' pedagogical competency and time limitations, and unstable school digital infrastructure. Therefore, this concept paper aims to propose the Framework of An Adaptive Mechanism Framework For Integrating Digital Game-Based Learning In Secondary Mathematics Education (MIAD-M) as a holistic conceptual framework to empower secondary school Mathematics teaching and learning in the digital era. The framework was developed using a narrative literature analysis approach and conceptual synthesis of global empirical studies published between 2022 and 2026. Structurally, MIAD-M integrates four Pedagogical-Game Integration Cores: Serious Educational Games (SEGs), Immersive Learning Environments (AR/VR), Gamification, and Constructionist Gaming, functionally mapped to secondary school Mathematics topics. The primary novelty of this framework lies in its Multidimensional Adaptation and Support System component, which encompasses three key elements: a cognitive mitigation protocol for managing challenge-skill balance, pedagogical mitigation via a modular "TPACK-Lite" 10–15 minutes approach, and technical mitigation based on fallback architecture. The development of the MIAD-M framework makes a significant theoretical contribution by synthesizing various digital learning theories. Furthermore, it provides sustainable, scalable, and cost-effective practical guidelines for educators, EdTech developers, and policymakers to drive a more inclusive and dynamic digital transformation.

ARTICLE HISTORY

Received 22 June 2026
Revised 26 July 2026
Accepted 27 July 2026
Online First 27 July 2026
Published 02 October 2026

KEYWORDS

MIAD-M Framework; Digital Game-Based Learning (DGBL); Secondary School Mathematics; Conceptual Framework; Digital Era.

1. Pengenalan

1.1. Latar Belakang Kajian

Pendidikan global abad ke-21 sedang mengalami fasa transformasi digital yang amat pesat. Perubahan teknologi ini menuntut institusi pendidikan untuk beralih daripada kaedah pengajaran tradisional kepada pendekatan pedagogi berpusatkan murid yang lebih interaktif dan bermakna (Akçayır & Akçayır, 2017; Cals & Kotz, 2013). Di Malaysia, komitmen ini dizahirkan melalui pelancaran Dasar Pendidikan Digital (DPD) oleh Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) pada November 2023. DPD bermatlamat untuk melahirkan generasi fasih digital yang berdaya saing melalui integrasi teknologi secara bersepadu, kreatif, dan inovatif dalam proses pengajaran dan pembelajaran (PdP) (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2023). Walau bagaimanapun, pelaksanaan dasar ini berhadapan dengan cabaran

berikutan tahap kebestarian sekolah yang dilaporkan masih berada pada tahap sederhana (Kementerian Pendidikan Malaysia, 2023; OECD, 2023).

Keperluan integrasi digital ini menjadi sangat kritikal dalam bidang pendidikan Matematik sekolah menengah. Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM) Matematik direka bentuk untuk memupuk bukan sahaja kemahiran aritmetik asas, malah kemahiran berfikir aras tinggi (KBAT), penaakulan logik, visualisasi ruang, dan penyelesaian masalah yang kompleks. Sifat kandungan matematik yang abstrak, kumulatif dan memerlukan penaakulan simbolik boleh menimbulkan kesukaran pemahaman dalam kalangan murid, sekali gus berpotensi mencetuskan kebimbangan matematik (*mathematics anxiety*) yang boleh menjejaskan pencapaian akademik dan motivasi mereka (Ersozlu, 2024; Kasim & Deringöl, 2025). Menyedari hakikat ini, para penyelidik dan pendidik mula meneroka pendekatan alternatif yang berupaya merapatkan jurang antara teori matematik yang abstrak dengan pemahaman murid yang konkrit.

Salah satu pendekatan yang mendapat pengiktirafan meluas ialah Pembelajaran Berasaskan Permainan Digital (*Digital Game-Based Learning*, DGBL). DGBL merujuk kepada kaedah pedagogi yang mengintegrasikan kandungan kurikulum secara langsung ke dalam mekanik, naratif, cabaran, dan sistem maklum balas sesebuah permainan digital (Gee, 2003; Plass et al., 2015). Melalui DGBL, pembelajaran berlaku secara aktif melalui fasa penerokaan sendiri dan penyelesaian masalah dalam persekitaran maya (Hainey et al., 2016; Ragni et al., 2023). Pendekatan ini berpotensi merangsang motivasi intrinsik, meningkatkan penglibatan aktif, dan mengurangkan kebimbangan matematik dalam kalangan murid sekolah menengah (Ersozlu, 2024; Ishak et al., 2023).

Walaupun bagaimanapun, kekeliruan sering timbul dalam literatur akademik antara konsep DGBL dengan Gamifikasi (Sailer & Homner, 2020). Walaupun kedua-duanya berkongsi objektif untuk meningkatkan penglibatan murid melalui elemen permainan, mekanisme pelaksanaannya adalah berbeza. Gamifikasi merujuk kepada aplikasi elemen reka bentuk permainan seperti mata, lencana, papan pendahulu (*leaderboards*), dan sistem ganjaran ke dalam konteks bukan permainan seperti aktiviti pengajaran harian atau Sistem Pengurusan Pembelajaran (LMS) (Deterding et al., 2011; Fuentes-Riffo et al., 2023). Sebaliknya, DGBL menuntut murid untuk "bermain untuk belajar" (*playing to learn*) iaitu kandungan matematik diserapkan secara organik ke dalam struktur permainan tersebut (Dehghanzadeh et al., 2024; Jarrah et al., 2025). Oleh itu, pemahaman yang jelas tentang perbezaan ini amat penting bagi memastikan reka bentuk pedagogi yang dilaksanakan adalah berkesan dan menepati objektif kurikulum matematik yang disasarkan.

1.2. Pernyataan Masalah

Meskipun potensi DGBL dalam memperkasakan pendidikan Matematik sekolah menengah telah didokumentasikan dengan baik, fasa pelaksanaannya dalam dunia nyata masih berhadapan dengan kekangan sistemik yang berlarutan. Berdasarkan sintesis kritikal terhadap literatur empirikal terkini (2022–2026), keberkesanan DGBL tidak boleh dijamin semata-mata dengan membekalkan teknologi pintar di dalam bilik darjah. Sebaliknya, wujud jurang multidimensi yang merangkumi aspek kognitif murid, pedagogi guru, dan infrastruktur teknikal yang masih belum diselesaikan secara holistik.

Banyak permainan digital komersial mahupun pendidikan yang dibina hari ini terlalu menumpukan kepada estetika visual dan mekanik permainan yang kompleks. Reka bentuk permainan yang sarat dengan elemen hiburan tanpa sokongan instruksional (*scaffolding*) yang sesuai berupaya mencetuskan beban kognitif melampau (*extraneous cognitive load*) kepada murid (Sweller, 1988). Akibatnya, perhatian kognitif murid dialihkan daripada memahami konsep matematik (seperti membuktikan formula geometri atau menyelesaikan persamaan linear) kepada usaha menguasai navigasi fizikal dan peraturan permainan (Christopoulos et al., 2024; Zaura et al., 2026). Kegagalan menyeimbangkan antara cabaran permainan dengan tahap kemahiran murid juga sering menyumbang kepada kemunculan rasa kecewa atau bosan, yang akhirnya membawa kepada kecenderungan meneka jawapan secara rawak demi mengejar masa (Jarrah et al., 2025).

Seterusnya, guru merupakan ejen utama perubahan kurikulum, namun majoriti guru matematik dilaporkan masih kekurangan literasi digital dan keyakinan untuk mengintegrasikan teknologi interaktif seperti Realiti Terimbuh (AR) atau Realiti Maya (VR) secara bermakna (Mishra & Koehler, 2006; Susilawati et al., 2025). Berdasarkan kerangka Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK), guru bukan sahaja perlu mahir menggunakan peranti, malah perlu tahu bagaimana dan bila teknologi tersebut harus disuntik ke dalam fasa pengajaran (Koehler et al., 2013). Tambahan pula, dengan kekangan masa PdP formal dan kepadatan kandungan kurikulum KSSM, guru tidak mampu memperuntukkan masa yang lama bagi penglibatan murid dalam permainan digital (Jukić Matić & Palha, 2025).

Dari aspek teknikal, jurang digital antara sekolah bandar dan luar bandar kekal menjadi isu kritikal di Malaysia. Pelaksanaan aplikasi imersif canggih memerlukan spesifikasi perkakasan yang tinggi dan kelajuan internet yang stabil, manakala set VR penuh melibatkan kos pelaburan yang sangat mahal bagi kebanyakan sekolah awam (Pramuditya et al., 2022). Isu teknikal seperti kegagalan penjejakan satah AR (marker tracking errors) dan ketidakserasian sistem operasi peranti Android peribadi pelajar sering menyebabkan sesi PdP terganggu dan menjejaskan kecekapan masa instruksional (Mandala et al., 2025; Zekeik et al., 2025). Ketiadaan seni bina sandaran (Fallback Architecture) yang fleksibel menyebabkan pelaburan EdTech di sekolah tidak mampan dan gagal digunakan secara meluas.

Oleh itu, kertas konsep ini dibangunkan bagi mencadangkan Kerangka Mekanisme Adaptif bagi Integrasi Pembelajaran berasaskan Permainan Digital dalam Pendidikan Matematik Sekolah Menengah (MIAD-M). Model ini dibina khusus sebagai penyelesaian bersepadu yang memetakan jenis permainan digital (SEGs, AR/VR, Gamifikasi, Constructionist) secara adaptif mengikut domain kognitif matematik sekolah menengah, sambil disokong oleh ekosistem sokongan beban kognitif, pendekatan pedagogi TPACK-Lite, dan seni bina teknikal sandaran. Pengenalan MIAD-M dihasratkan dapat merapatkan jurang teori dan praktikal, sekali gus menawarkan satu peta panduan pedagogi yang komprehensif bagi pelaksanaan DGBL dalam Pendidikan Matematik.

1.3. Objektif Kajian & Persoalan Kajian

Secara umumnya, kajian konseptual ini dijalankan untuk mencapai tiga objektif utama:

1. Mengenal pasti cabaran sistemik dan jurang multidimensi (kognitif, pedagogi, dan teknikal) dalam pelaksanaan Pembelajaran Berasaskan Permainan Digital (DGBL) bagi mata pelajaran Matematik Sekolah Menengah melalui tinjauan literatur empirikal pasca-pandemik (2022–2026).
2. Membangunkan satu Kerangka Mekanisme Adaptif bagi Integrasi DGBL-Matematik (MIAD-M) yang holistik dengan menyepadukan empat teras pedagogi-permainan (SEGs, AR/VR, Gamifikasi, dan Constructionist Gaming) berteraskan prinsip *Pedagogy-First*.
3. Merumuskan mekanisme Sistem Adaptasi & Sokongan Multidimensi (protokol beban kognitif, pendekatan modular TPACK-Lite, dan seni bina sandaran) di dalam kerangka MIAD-M bagi menyokong kelangsungan PdP dalam konteks kekangan teknologi dan masa pengajaran.

Berdasarkan objektif di atas, kertas konsep ini dipandu oleh tiga soalan kajian berikut:

1. Apakah cabaran sistemik dan jurang multidimensi (dari aspek kognitif murid, pedagogi guru, dan infrastruktur teknikal) yang dihadapi dalam pelaksanaan DGBL untuk pendidikan Matematik sekolah menengah berdasarkan sorotan empirikal tahun 2022 hingga 2026?
2. Bagaimanakah empat teras teknologi-pedagogi (Serious Educational Games, Persekitaran Imersif AR/VR, Gamifikasi, dan Constructionist Gaming) boleh disatukan secara konseptual ke dalam satu kerangka adaptif (MIAD-M) bagi menyokong domain kurikulum Matematik sekolah menengah?
3. Bagaimanakah komponen Sistem Adaptasi & Sokongan Multidimensi (merangkumi kawalan beban kognitif, modul TPACK-Lite 10–15 minit, dan seni bina sandaran teknikal) diformulasikan di dalam kerangka MIAD-M bagi menyokong kelangsungan PdP dalam konteks kekangan teknologi dan masa pengajaran?

1.4. Kepentingan Kajian

Pembangunan Kerangka Mekanisme Adaptif bagi Integrasi DGBL-Matematik (MIAD-M) ini dicadangkan untuk memberi sumbangan konseptual terhadap aspek teoretikal dan praktikal dalam landskap transformasi digital pendidikan negara. Secara khusus, potensi kepentingan kajian ini dibahagikan mengikut pemegang taruh berikut:

1.4.1. Kepada Pendidik dan Guru Matematik

Kajian konseptual ini menawarkan asas cadangan yang pragmatik dan mesra bilik darjah bagi mendepani isu kekangan masa dan beban kerja guru melalui pengenalan pendekatan modular "TPACK-Lite". Sebelum ini, guru sering berasa terbeban untuk melaksanakan DGBL kerana menganggap ia memerlukan persediaan yang lama. Melalui kerangka MIAD-M, guru diberikan cadangan panduan awal untuk menyuntik elemen permainan digital dalam slot 10 hingga 15 minit secara berstruktur. Ini berpotensi membantu guru menggalakkan penglibatan aktif murid tanpa mengorbankan masa instruksional bersemuka tradisional bagi topik-topik Matematik KSSM.

1.4.2. Kepada Pembangun EdTech dan Pereka Permainan Digital

Model ini berpotensi menyediakan satu set panduan reka bentuk (*design guidelines*) berasaskan prinsip *Pedagogy-First* yang mengimbangi aspek estetika permainan dengan keperluan akademik kurikulum Matematik. Melalui komponen Sistem Sokongan Beban Kognitif yang dicadangkan, pembangun teknologi pendidikan mendapat cadangan asas konseptual untuk mengurangkan beban kognitif luaran (*extraneous load*) dalam aplikasi rekaan mereka. Hal ini berpotensi membantu industri menghasilkan perisian pendidikan yang tidak sekadar berorientasikan hiburan visual, tetapi berfungsi sebagai pemangkin kognitif (*cognitive amplifier*) murid.

1.4.3. Kepada Pembuat Dasar (Kementerian Pendidikan Malaysia)

Kajian ini menawarkan cadangan konseptual yang seiring dengan usaha merealisasikan Dasar Pendidikan Digital (DPD) negara. Dengan mengetengahkan konsep Seni Bina Sandaran (*Fallback Architecture*), MIAD-M menawarkan asas cadangan hibrid yang kos efektif, mudah dikembangkan (*scalable*), dan mampan bagi merapatkan jurang digital antara sekolah bandar dan luar bandar (Hanggara et al., 2024; Polydoros & Antoniou, 2025; Sansyzbayev et al., 2025). Pembuat dasar boleh menjadikan kerangka ini sebagai panduan awal untuk merangka pelan intervensi yang lebih inklusif.

1.4.4. Kepada Korpus Ilmu dan Teori (Sumbangan Akademik)

Dari aspek teoretikal, kertas konsep ini menawarkan panduan awal untuk merapatkan pemisahan (*decoupling*) yang wujud dalam literatur terdahulu dengan menyatukan empat teori utama (DGBL, Pembelajaran Imersif, Teori Penentuan Kendiri, dan Konstruksionisme) di bawah satu model integrasi konseptual yang adaptif (Kitchenham & Charters, 2007; Page et al., 2021; Pramuditya et al., 2025). Penyelidikan konseptual ini memberi sumbangan awal terhadap teori sains kognitif dan pedagogi digital dengan mencadangkan bagaimana interaksi afektif dan kognitif murid boleh dikawal selia secara dinamik melalui ekosistem sokongan multidimensi.

2. Landasan Teoretikal Dan Sorotan Literatur

Sintesis kajian literatur ini distrukturkan secara bertema (*thematic synthesis*) bagi membina asas konseptual yang kukuh untuk kertas konsep ini. Tinjauan ini membincangkan lima domain utama: (1) Kerangka Teoretikal Multidimensi, (2) Pedagogi DGBL dan Pendekatan Gamifikasi Kontemporari, (3) Sinergi AR, VR, dan AI dalam Matematik, (4) Pemerkasaan Domain Kognitif (Penaakulan Spatial & KBAT), dan (5) Dimensi Afektif (Emosi Pencapaian & Ekuiti Jantina).

2.1. Landasan Teoretikal Kerangka MIAD-M

Reka bentuk dan pembangunan Kerangka Integrasi Adaptif DGBL-Matematik (MIAD-M) berpaksikan kepada integrasi sinergetik empat teori pembelajaran kontemporari. Penyepaduan ini penting bagi memastikan setiap teras teknologi dalam MIAD-M mempunyai asas pedagogi yang kukuh, sekali gus mengelakkan kebergantungan melampau kepada teknologi semata-mata iaitu teknologi diutamakan berbanding matlamat pembelajaran Matematik.

2.1.1. Teori Pembelajaran Berasaskan Permainan (DGBL)

Teori Pembelajaran Berasaskan Permainan yang dipopularkan oleh Gee (2003) dan diperkukuh oleh Plass et al. (2015) menegaskan bahawa permainan digital bukan sekadar alat hiburan, melainkan suatu ekosistem pembelajaran yang kompleks. Menurut Gee (2003), permainan digital yang baik mengandungi 36 prinsip pembelajaran, termasuklah prinsip penerokaan aktif, pemikiran sistem dan reka bentuk berpusatkan pemain. Pembelajaran berlaku apabila murid terlibat dalam kitaran aksi-maklum balas-refleksi secara berterusan. Plass et al. (2015) pula membahagikan reka bentuk DGBL kepada tiga dimensi interaksi: kognitif, afektif, dan motivasi. Dalam konteks MIAD-M, teori ini mendasari Teras 1: Serious Educational Games (SEGs), di mana mekanik permainan disesuaikan secara langsung untuk membolehkan murid meneroka peraturan matematik yang abstrak (seperti algebra dan pecahan) melalui visualisasi interaktif sebelum pengenalan formula formal secara tradisional (Zaura et al., 2026).

2.1.2. Teori Pembelajaran Imersif dan Konstruktivisme

Pembelajaran konsep geometri tiga dimensi menuntut keupayaan visualisasi ruang yang tinggi. Sifat abstrak bentuk geometri sukar disampaikan secara berkesan melalui medium dua dimensi seperti buku teks atau papan tulis. Teori Pembelajaran Imersif oleh Dengel (2022) menjelaskan bahawa persekitaran digital yang imersif (seperti AR dan VR) membolehkan murid mengalami "kehadiran psikologi" (*psychological presence*) dan "kehadiran fizikal" (*co-presence*) dalam ruang maya. Disokong oleh Teori Konstruktivisme Piaget (1952), teori ini menekankan bahawa pengetahuan dibina secara aktif oleh murid melalui interaksi fizikal dan mental dengan persekitaran mereka. Melalui Teras 2: Persekitaran Pembelajaran Imersif, teknologi AR dan VR bertindak sebagai "manipulatif digital" yang membolehkan murid memutar, memotong, dan membedah objek geometri secara langsung (Mandala et al., 2025; Zekeik et al., 2025). Interaksi kinetik dan visual ini merangsang struktur kognitif murid untuk memindahkan pemahaman konkrit kepada pemikiran spatial-matematik yang abstrak.

2.1.3. Teori Penentuan Kendiri (Self-Determination Theory - SDT)

Bagi mengekalkan motivasi murid dalam tugas matematik yang mencabar, MIAD-M menyepadukan Teori Penentuan Kendiri (SDT) oleh Deci dan Ryan (1985). SDT menggariskan bahawa motivasi intrinsik manusia akan berkembang secara optimum sekiranya tiga keperluan psikologi asas dipenuhi:

1. **Autonomi (*Autonomy*):** Kebebasan untuk membuat keputusan dan mengawal arah pembelajaran mereka sendiri.
2. **Kompetensi (*Competence*):** Perasaan berupaya untuk menghadapi dan menyelesaikan cabaran yang diberikan.
3. **Hubungan Sosial (*Relatedness*):** Rasa terhubung, dihargai, dan bekerjasama dengan orang lain dalam komuniti pembelajaran.

Melalui Teras 3: Gamifikasi dalam Sistem Pengajaran, elemen mekanik permainan seperti mata, lencana, papan pendahulu (*leaderboards*), dan misi rakan sekumpulan (*collaborative quests*) direka bentuk bagi memenuhi ketiga-tiga keperluan psikologi ini. Penggunaan platform seperti Kahoot! atau LMS yang digamifikasikan terbukti merangsang penglibatan aktif dan mengurangkan kebimbangan akademik (*achievement anxiety*) apabila

dilaksanakan dengan mengambil kira keperluan autonomi dan kompetensi pelajar (Jarrah et al., 2025; Suparman et al., 2024).

2.1.4. Teori Permainan Konstruksionis (*Constructionist Gaming Theory*)

Konstruksionisme yang diasaskan oleh Seymour Papert (1980) dan dikembangkan dalam konteks digital sebagai *Constructionist Gaming* oleh Kafai dan Burke (2015) berhujah bahawa pembelajaran paling berkesan berlaku apabila murid terlibat secara aktif dalam membina, mereka bentuk, dan berkongsi artifak bermakna mereka sendiri. Berbeza dengan pendekatan DGBL konvensional di mana murid bertindak sebagai pengguna (*consumers*) permainan, *Constructionist Gaming* meletakkan murid sebagai pencipta (*creators*) permainan. Di bawah Teras 4: Constructionist Gaming, murid diajar untuk menggunakan pengaturcaraan visual mudah (seperti Scratch) atau mengubah suai (*modding*) mekanik permainan matematik sedia ada. Proses menulis kod untuk menyelesaikan masalah matematik dalam enjin permainan memaksa murid melakukan penstrukturan semula kognitif (*cognitive restructuring*). Mereka bukan sahaja perlu memahami peraturan matematik secara teori, malah perlu menterjemahkannya ke dalam logik algoritma komputer yang rigid, sekali gus memupuk pemikiran komputasi dan kemahiran berfikir aras tinggi (KBAT) (Jukić Matić & Palha, 2025).

2.1.5. Teori Aliran (*Flow Theory* - Csikszentmihalyi, 1990)

Teori Aliran oleh Csikszentmihalyi (1990) memainkan peranan penting dalam Lapisan 1 Kerangka MIAD-M bagi menjelaskan keadaan fokus dan keterlibatan emosi-kognitif yang mendalam (*flow state*) semasa murid bermain permainan pembelajaran. Mengikut teori ini, pengalaman aliran optimum tercapai apabila terdapat keseimbangan yang sempurna antara tahap cabaran permainan dengan tahap kemahiran matematik murid. Sekiranya cabaran permainan terlalu tinggi berbanding kemahiran murid, murid akan mengalami kebimbangan (*anxiety*) dan kekecewaan. Sebaliknya, jika kemahiran murid mengatasi cabaran permainan, murid akan berasa bosan (*boredom*). Dalam MIAD-M, Teori Aliran digunakan untuk memandu mekanisme penyesuaian tahap kesukaran permainan secara dinamik supaya murid sentiasa berada dalam zon pembelajaran aktif yang merangsang motivasi berterusan.

2.2. Teori Beban Kognitif dan Sokongan Cabaran Kognitif dalam MIAD-M

Antara jurang utama yang dikenal pasti dalam literatur DGBL Matematik ialah isu peningkatan beban kognitif yang tidak berkaitan dengan pembelajaran (Christopoulos et al., 2024). Teori Beban Kognitif (*Cognitive Load Theory* - CLT) yang diasaskan oleh Sweller (1988) menggariskan bahawa memori kerja manusia mempunyai kapasiti pemprosesan yang sangat terhad. CLT membahagikan beban kognitif kepada tiga dimensi utama:

1. Beban Intrinsik (*Intrinsic Cognitive Load*): Berkaitan dengan tahap kesukaran semula jadi bahan pembelajaran matematik itu sendiri (contohnya, kerumitan konsep kalkulus atau geometri koordinat).
2. Beban Erat (*Germane Cognitive Load*): Usaha mental yang digunakan oleh murid untuk membina skema pemahaman konseptual dan memproses maklumat ke dalam memori jangka panjang. Ini adalah beban yang bermanfaat.
3. Beban Luaran (*Extraneous Cognitive Load*): Beban mental yang terdapat disebabkan oleh reka bentuk instruksional yang buruk atau gangguan mekanik permainan yang terlalu sarat. Beban ini langsung tidak membantu pembelajaran dan perlu diminimumkan.

Kertas-kertas empirikal dalam SLR menunjukkan bahawa reka bentuk permainan digital yang terlalu sarat dengan visual 3D yang kompleks, kesan bunyi yang bising, atau kawalan navigasi peranti yang tidak intuitif menyumbang kepada peningkatan beban luaran yang mendadak (Christopoulos et al., 2024; Zaura et al., 2026). Akibatnya, fokus murid terganggu sebelum mereka sempat memproses konsep matematik yang cuba disampaikan. Bagi menangani isu kritikal ini, MIAD-M memperkenalkan Sistem Sokongan Beban Kognitif berasaskan prinsip *Pedagogy-First* melalui pemisahan fasa pengenalan mekanik permainan daripada tugas matematik utama serta pelaksanaan sokongan instruksional (*scaffolding*) dinamik.

2.3. Kerangka Pengetahuan TPACK dan Sokongan Teknologi (SAMR)

2.3.1. Kerangka TPACK-Lite

Bagi mengelakkan kerangka TPACK (Mishra & Koehler, 2006) dianggap terlalu kompleks, MIAD-M memperkenalkan pendekatan modular "TPACK-Lite" yang menghadkan fasa permainan digital secara berstruktur kepada 10 hingga 15 minit sahaja (seperti Set Induksi atau Penutup), mengurangkan beban pengurusan guru sambil mengekalkan bimbingan bersemuka (Moral-Sánchez et al., 2022; Susilawati et al., 2025).

2.3.2. Model SAMR dalam Sokongan Teknologi (Puentedura, 2006)

Sokongan Teknologi dalam Lapisan 3 Kerangka MIAD-M dioperasikan berpandukan Model SAMR (Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition) oleh Puentedura (2006). Model ini digunakan untuk memetakan tahap kedalaman pengintegrasian teknologi permainan ke dalam PdP Matematik:

1. Penukaran (Substitution): Permainan digital digunakan sebagai ganti kepada lembaran kerja kertas tanpa perubahan fungsional (contoh: kuiz matematik atas talian).
2. Penambahan (Augmentation): Permainan menyediakan penambahbaikan fungsional seperti maklum balas segera dan animasi visual langkah penyelesaian.
3. Pengubahsuaian (Modification): Aplikasi imersif (AR/VR) mengubah reka bentuk tugas dengan membolehkan murid memanipulasi bentuk geometri secara dinamik yang tidak dapat dilakukan dalam medium tradisional.
4. Takrifan Semula (Redefinition): Constructionist gaming membolehkan penciptaan tugas baharu yang belum pernah wujud sebelum ini, seperti murid mereka bentuk dan mengod permainan matematik mereka sendiri.

Dalam MIAD-M, Model SAMR digabungkan dengan Seni Bina Sandaran (Fallback Architecture). Sekiranya sekolah menghadapi masalah teknikal pada tahap Redefinition atau Modification (seperti kegagalan peranti VR atau sambungan internet), sistem sokongan teknologi membolehkan guru membuat pelan sandaran fleksibel (*graceful degradation*) ke peringkat Augmentation atau Substitution (seperti simulasi 3D desktop luar talian) tanpa mengganggu kelangsungan PdP.

2.4. Analisis Perbandingan Empirikal Kajian Lepas (2022–2026)

Bagi membuktikan keperluan pembinaan kerangka MIAD-M yang holistik, Jadual 1 merumuskan analisis perbandingan kritis terhadap beberapa kajian empirikal utama yang diperolehi daripada SLR. Analisis ini mendedahkan bagaimana kajian terdahulu sering mengalami "ketidakseimbangan teras" di mana mereka hanya memfokuskan kepada satu dimensi teknologi tanpa menyediakan ekosistem sokongan atau sokongan cabaran yang bersepadu.

Jadual 1: Analisis Perbandingan Empirikal Kajian Lepas

Kajian Empirikal	Teras Fokus	Kekuatan Utama	Kelompangan Kritikal (Ditangani oleh MIAD-M)
Christopoulos et al. (2024)	Teras 2 (Imersif 3D)	Meningkatkan penglibatan visual secara mendalam.	Tahap imersif yang terlalu tinggi mencetuskan beban kognitif luaran (<i>extraneous load</i>); tiada mekanisme sokongan beban minda murid.
Zekeik et al. (2025)	Teras 2 (Mobile AR)	Memudahkan visualisasi geometri ruang di sekolah.	Terdedah kepada gangguan ralat penjejakan kamera (<i>marker tracking error</i>); tiada seni bina sandaran (<i>Fallback</i>) apabila peranti pelajar gagal berfungsi.

Jarrah et al. (2025)	Teras 3 (Gamifikasi Kahoot!)	Memacu motivasi luaran dan keseronokan jangka pendek.	Mencetuskan kesan jemu (<i>wear-out effect</i>) dalam jangka panjang; pelajar cenderung meneka jawapan secara rawak untuk bersaing masa.
Jukić Matić & Palha (2025)	Teras 4 (Constructionist)	Memupuk pemikiran kreatif peringkat tinggi (KBAT).	Menuntut masa pelaksanaan yang sangat panjang dan membebankan guru; tiada panduan "TPACK-Lite" yang modular untuk pengurusan masa bilik darjah.

Melalui analisis perbandingan di atas, jelas menunjukkan bahawa tiada satu pun model sedia ada yang menawarkan penyelesaian secara menyeluruh terhadap aspek kognitif, pedagogi, dan teknikal secara serentak. Jurang besar inilah yang dipenuhi oleh Kerangka MIAD-M melalui penyediaan satu ekosistem sokongan dan panduan pedagogi bersepadu.

3. Metodologi Konseptual

3.1. Reka Bentuk Metodologi Konseptual

Kertas konsep ini dibangunkan sepenuhnya menggunakan pendekatan analisis dan sintesis konseptual berasaskan sorotan literatur naratif terarah. Berbeza dengan kajian empirikal yang bergantung kepada pengumpulan data primer di lapangan, kajian ini menekankan analisis sekunder yang kritis, integratif, dan berasaskan teori terhadap korpus ilmu sedia ada (Jaakkola, 2020; MacInnis, 2011).

3.2. Pemilihan Sumber Rujukan

Bagi menjamin kualiti dan kredibiliti akademik hujah yang dikemukakan, pemilihan literatur dalam kajian ini dilakukan secara terancang melalui teknik pensampelan bertujuan berasaskan teori (Suri, 2011). Sumber rujukan dipilih dan dinilai berdasarkan kesesuaiannya dengan objektif kajian serta konsep-konsep utama berkaitan DGBL, pembelajaran Matematik sekolah menengah dan teori-teori yang menyokong pembentukan Kerangka Integrasi Adaptif DGBL-Matematik (MIAD-M).

Prosedur pencarian literatur berpandukan kriteria terarah berikut:

1. Kerelevanan Konseptual: Artikel mengupas aplikasi DGBL, gamifikasi, AR, atau VR dalam domain pendidikan Matematik sekolah menengah.
2. Kualiti Akademik: Keutamaan diberikan kepada artikel jurnal penyelidikan berasaskan *peer-reviewed* dalam pangkalan data terkemuka (Scopus, WoS, Google Scholar).
3. Julat Waktu Kontemporari: Fokus penulisan tertumpu kepada penerbitan ilmiah terkini (tahun 2022 hingga 2026).

3.3. Proses Sintesis Konseptual

Sintesis konseptual merupakan kaedah intelektual utama yang digunakan untuk mencantumkan idea-idea yang terpisah daripada literatur menjadi sebuah kerangka kerja baharu yang koheren (Jaakkola, 2020). Dalam membangunkan kerangka MIAD-M, proses sintesis ini dilaksanakan melalui tiga fasa operasi:

1. Asas Konseptual dan Teori DGBL

Konsep-konsep utama daripada literatur dianalisis secara kritis untuk melihat kekuatan dan kekurangannya. Sebagai contoh, teori DGBL tradisional (Gee, 2003) dianalisis bersama Teori Beban Kognitif (Sweller, 1988) untuk memahami mengapa visualisasi permainan yang terlalu sarat sering kali mengganggu tumpuan kognitif murid semasa menyelesaikan tugas Matematik.

2. Hubungan antara Komponen MIAD-M

Pada peringkat ini, hubungan antara komponen utama yang dikenal pasti dalam literatur dianalisis bagi menjelaskan bagaimana dimensi aplikasi DGBL menyokong pembelajaran Matematik sekolah menengah. Analisis ini memberi tumpuan kepada hubungan antara teori pembelajaran, jenis aplikasi DGBL, mekanisme pelaksanaan, faktor konteks dan hasil pembelajaran.

3. Integrasi Sistem Sokongan

Langkah terakhir melibatkan pengintegrasian semua elemen yang telah dikenal pasti ke dalam satu kerangka konseptual yang komprehensif, iaitu Kerangka Integrasi Adaptif DGBL-Matematik (MIAD-M). Isu kesediaan guru diselesaikan secara konseptual melalui penyederhanaan kerangka TPACK tradisional menjadi pendekatan modular TPACK-Lite (menggunakan slot 10-15 minit permainan digital). Manakala isu teknikal ditangani dengan mengemukakan konsep Seni Bina Sandaran (*Fallback Architecture*) bagi membolehkan pembelajaran berjalan secara hibrid walaupun dengan kekangan peranti di sekolah. Hasil daripada rantai sintesis konseptual inilah yang melahirkan Model Integrasi Adaptif DGBL-Matematik (MIAD-M) yang holistik, di mana reka bentuk teknologi diletakkan di bawah payung pedagogi dan sains kognitif yang seimbang.

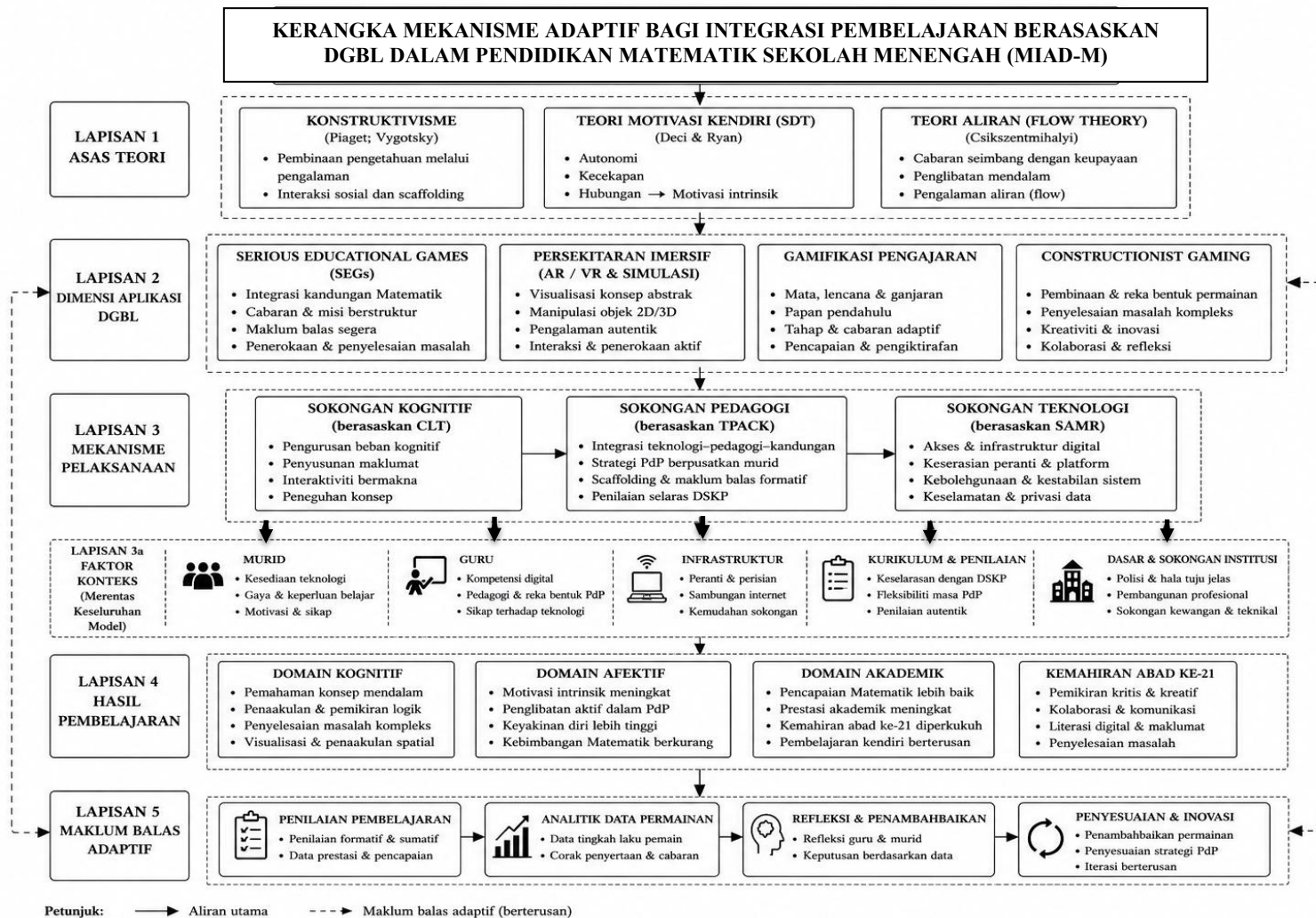
4. Dapatan Kajian

4.1. Pengenalan Kerangka MIAD-M

Kerangka MIAD-M direka bentuk sebagai satu respons konseptual terhadap isu pemisahan (decoupling) antara reka bentuk teknologi permainan dengan keperluan pedagogi Matematik. "Adaptif" merujuk kepada keupayaan penyelarasan dinamik antara cabaran permainan, kognitif murid, kesediaan sekolah, dan masa instruksional guru berasaskan prinsip Pedagogy-First.

4.2. Rajah Kerangka Mekanisme Adaptif Bagi Integrasi Pembelajaran berasaskan DGBL-Matematik (MIAD-M)

Rajah 1 menggambarkan struktur 5 lapisan MIAD-M yang menyatukan asas teori, dimensi aplikasi, mekanisme pelaksanaan, faktor konteks, hasil pembelajaran, dan maklum balas adaptif.



Rajah 1. Kerangka MIAD-M

4.3. Perincian Komponen Kerangka dan Interaksi MIAD-M

4.3.1. Lapisan 1 (Asas Teori) & Lapisan 2 (Dimensi Aplikasi DGBL)

Lapisan 1 menyediakan prinsip landasan pedagogi (Konstruktivisme, SDT, Flow Theory) yang memandu pemetaan Teras Aplikasi dalam Lapisan 2 (SEGs, Imersif AR/VR, Gamifikasi, Constructionist Gaming) secara berstruktur.

4.3.2. Interaksi Lapisan 2 ke Lapisan 3 (Mekanisme Pelaksanaan)

Aplikasi DGBL ditapis oleh Lapisan 3 melalui tiga pilar sokongan: Sokongan Kognitif (kawalan beban luaran CLT), Sokongan Pedagogi (pendekatan modular TPACK-Lite 10–15 minit), dan Sokongan Teknologi (Seni Bina Sandaran berasaskan SAMR).

4.3.3. Pengaruh Lapisan 3a (Faktor Konteks Merentas Model)

Lapisan 3a bertindak sebagai pemboleh ubah persekitaran yang merentas keseluruhan model dan menentukan tahap kejayaan pengoperasian MIAD-M di lapangan. Lima faktor konteks terperinci merangkumi:

- i. Murid: Ketersediaan teknologi, gaya dan keperluan belajar, tahap motivasi, serta kecenderungan emosi terhadap matematik.
- ii. Guru: Kompetensi digital, keyakinan pedagogi, amalan reka bentuk PdP, dan sikap terhadap integrasi teknologi.
- iii. Infrastruktur: Ketersediaan perkakasan (peranti/AR/VR), kestabilan capaian internet, dan ketersediaan kemudahan sokongan teknikal di sekolah.
- iv. Kurikulum & Penilaian: Keselarasan kandungan dengan DSKP KSSM, fleksibiliti jadual waktu PdP, dan kekangan pentaksiran berpusat.
- v. Dasar & Sokongan Institusi: Kejelasan polisi sekolah, kepimpinan digital pengetua, peluang pembangunan profesional guru, serta sokongan kewangan.

4.3.4. Hasil Pembelajaran (Lapisan 4: Domain Kognitif, Afektif & Motivasi, Akademik, Kemahiran Abad ke-21)

Sinergi daripada Lapisan 1 hingga 3a memacu pencapaian holistik murid dalam Lapisan 4, yang dibahagikan kepada empat domain utama:

- i. **Domain Kognitif:** Pemahaman konsep mendalam, penaakulan logik, penyelesaian masalah kompleks, dan visualisasi spatial.
- ii. **Domain Afektif & Motivasi [Dinamakan Semula & Diperluas]:** Peningkatan motivasi intrinsik murid, dorongan efikasi sendiri (*self-efficacy*), penglibatan aktif dalam PdP, keyakinan diri, serta pengurangan kebimbangan matematik (*math anxiety*).
- iii. **Domain Akademik:** Peningkatan prestasi dan pencapaian matematik, kemahiran abad ke-21, serta pembentukan pembelajaran sendiri.
- iv. **Kemahiran Abad ke-21:** Pemikiran kritis dan kreatif, kolaborasi, komunikasi, dan literasi digital.

4.3.5. Penyesuaian Dinamik (Lapisan 5: Maklum Balas Adaptif)

Lapisan 5 beroperasi sebagai kitaran penilaian dan adaptasi berterusan yang terdiri daripada empat fasa berurutan:

- i. Fasa 1 (Penilaian Pembelajaran): Mengumpul data pentaksiran formatif dan sumatif murid secara langsung semasa atau selepas sesi PdP.
- ii. Fasa 2 (Analitik Data Permainan): Menganalisis rekod aktiviti murid dalam permainan (*in-game telemetry*), seperti masa penyelesaian tugas, kadar ralat, dan corak percubaan murid.
- iii. Fasa 3 (Refleksi & Penambahbaikan): Guru dan murid menjalankan refleksi berdasarkan data terkumpul untuk mengenal pasti jurang pemahaman matematik dan kelemahan reka bentuk instruksional.

- iv. Fasa 4 (Penyesuaian & Inovasi): Hasil refleksi digunakan untuk melakukan penyesuaian strategi PdP dan penambahbaikan aplikasi permainan.

Data maklum balas daripada Lapisan 5 disalurkan semula menerusi **dua gelung maklum balas dwi-kitaran (*dual-loop feedback*)** ke Lapisan 2 (untuk penyesuaian mekanik permainan digital) dan Lapisan 3 (untuk penyesuaian strategi instruksional guru).

5. Perbincangan

5.1. Perbincangan Sintesis Kerangka MIAD-M

Pembangunan Kerangka Integrasi Adaptif DGBL-Matematik (MIAD-M) merupakan usaha konseptual yang kritikal untuk merapatkan jurang antara kecanggihan teknologi permainan digital dengan realiti praktikal pedagogi Matematik sekolah menengah. Melalui sintesis literatur dari tahun 2022 hingga 2026, MIAD-M dibina bukan sekadar untuk menyenaraikan teknologi, sebaliknya untuk bertindak sebagai peta panduan operasi (*operational roadmap*) yang menyepadukan empat teras teknologi dengan sistem sokongan multidimensi yang seimbang. Sintesis ini menunjukkan bahawa pendekatan tradisional yang bersifat "teknosentrik" (di mana peranti dibekalkan ke sekolah tanpa sokongan pedagogi khusus) sering menemui kegagalan (Christopoulos et al., 2024; OECD, 2023). MIAD-M merapatkan jurang konseptual ini dengan meletakkan prinsip "*Pedagogy-First*". Di bawah model ini, setiap keputusan teknologi disaring melalui keupayaan kognitif murid dan kekangan instruksional guru.

5.1.1. Perbandingan Konseptual MIAD-M Berbanding Kerangka Sedia Ada

Jadual 2: Perbandingan Konseptual Antara Kerangka Sedia Ada dengan Kerangka MIAD-M

Dimensi Perbandingan	Kerangka Sedia Ada (TPACK Konvensional / Model DGBL Murni / Gamifikasi Statik)	Kerangka MIAD-M (Model Cadangan)	Kebaharuan & Kelebihan Utama MIAD-M
1. Pengurusan Masa & Pedagogi	Menuntut integrasi teknologi sepanjang waktu PdP (60 minit), yang membebankan guru dan mengganggu silibus KSSM.	Memperkenalkan pendekatan "TPACK-Lite" yang berasaskan struktur modular 10–15 minit sahaja (Set Induksi/Penutup).	Mengurangkan beban kerja guru (teacher burnout) sambil mengekalkan bimbingan bersemuka konvensional.
2. Kawalan Beban Kognitif	Model DGBL murni kerap mengabaikan beban luaran (extraneous load) akibat ciri visual dan navigasi permainan yang terlalu sarat.	Menyerapkan Sistem Sokongan Beban Kognitif (CLT) menerusi pemisahan fasa permainan dan scaffolding dinamik.	Memastikan memori kerja murid difokuskan kepada pemprosesan konsep matematik (germane load).
3. Kesiapsiagaan Teknikal	Mengandaikan infrastruktur dan peranti sekolah sentiasa ideal (tiada pelan sandaran apabila berlaku ralat teknikal).	Menyediakan Seni Bina Sandaran (Fallback Architecture) berpandukan model SAMR (akses hibrid & mod luar talian).	Menjamin kelangsungan PdP walaupun berlaku gangguan internet atau kegagalan peranti di sekolah.
4. Pemetaan Topik & Teknologi	Kerangka sedia ada kerap menyamaratakan penggunaan satu jenis permainan digital untuk semua topik matematik.	Memetakan 4 Teras Permainan (SEGs, AR/VR, Gamifikasi, Constructionist) secara khusus mengikut domain kognitif KSSM.	Memastikan ketepatan padanan antara fungsi teknologi dengan tahap kerumitan topik matematik (cth: AR/VR khusus untuk Geometri 3D).

5. Elemen Konteks & Maklum Balas	Bersifat linear/statik dari input ke output tanpa mengambil kira persekitaran sekolah dan kitaran penambahbaikan.	Mengintegrasikan Faktor Konteks (Lapisan 3a) dan Gelung Maklum Balas Adaptif berterusan (Lapisan 5).	Membolehkan penyesuaian strategi PdP dan penambahbaikan aplikasi permainan berlaku secara berulang (iterative adaptation).
----------------------------------	---	--	--

Bagi menjawab keperluan perbandingan secara mendalam, Kerangka MIAD-M menawarkan kebaruan (*novelty*) yang signifikan berbanding kerangka integrasi teknologi sedia ada dalam literatur. Kebanyakan kerangka terdahulu seperti kerangka TPACK konvensional (Mishra & Koehler, 2006), model DGBL murni (Gee, 2003; Plass et al., 2015), serta kerangka Gamifikasi statik (Deterding et al., 2011) cenderung beroperasi secara terasing atau bersifat terlalu teoretikal tanpa mengambil kira kekangan praktikal bilik darjah sekolah awam. Seperti yang dirumuskan dalam Jadual 2, MIAD-M bertindak sebagai kerangka 'jambatan' yang merapatkan jurang antara teori akademik dengan realiti bilik darjah. Menerusi pengenalan TPACK-Lite, Seni Bina Sandaran, dan pemetaan 4 teras adaptif, kerangka ini menawarkan pendekatan yang jauh lebih mampan, inklusif, dan fleksibel berbanding model-model sedia ada dalam literatur.

5.2. Pemetaan Operasi Teras MIAD-M Mengikut Kurikulum DSKP KSSM Matematik

Bagi memastikan kerangka konseptual MIAD-M tidak bersifat abstrak dan dapat dioperasikan secara terus dalam bilik darjah sekolah menengah, empat teras pedagogi-permainan dipetakan secara terperinci mengikut Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) KSSM Matematik. Matriks pemetaan ini ditunjukkan dalam Jadual 3 di bawah.

Jadual 3: Matriks Pemetaan Teras MIAD-M Mengikut Topik DSKP KSSM Matematik Sekolah Menengah

Teras MIAD-M	Tingkatan & Topik DSKP KSSM	Domain Kognitif / Sasaran Kemahiran	Contoh Cadangan Aplikasi & Reka Bentuk Pedagogi
Teras 1: Serious Educational Games (SEGs)	Tingkatan 1 & 2: • Ungkapan & Persamaan Linear • Nisbah, Kadar & Kadaran • Pecahan & Perpuluhan	Pemahaman Konseptual Asas, Operasi Aritmetik & Penaakulan Algoritma	Permainan teka-teki berperingkat (<i>progression puzzle</i>) seperti <i>Fraction Heroes</i> di mana pemain memanipulasi pemboleh ubah visual untuk mengimbangi persamaan algebra sebelum penulisan simbolik formal.
Teras 2: Persekitaran Imersif (AR / VR)	Tingkatan 2 & 3: • Bentuk Geometri 3D • Pelan dan Mendongak • Transformasi Isometri	Visualisasi 3D, Geometri & Manipulasi Maya, Spatial Intuisi & Objek	Aplikasi <i>Mobile AR</i> (seperti <i>GeoFormeAR</i>) yang bertindak sebagai manipulatif digital untuk memutar, memotong, dan membedah bentuk 3D serta memancarkan pelan/mendongak secara real-time.

Teras Gamifikasi Pengajaran	3: Tingkatan 1 hingga 5 (Semua Topik): Latih Tubi Terarah (Kebarangkalian, Graf Fungsi, Pengurusan Kewangan)	Pengukuhan Ingatan, Kelajuan Pengiraan & Efikasi Kendiri	Sesi kuiz interaktif berpemasa (Kahoot! / Quizizz / LMS) berdurasi 10–15 minit berteraskan mata, lencana, dan papan pendahulu (<i>leaderboards</i>) untuk pentaksiran formatif pantas.
Teras Constructionist Gaming	4: Tingkatan 4 & 5: - Rangkaian dalam Teori Graf - Penaakulan Logik - Sukatan Serakan Data	Pemikiran Komputasi, KBAT, Penyelesaian Masalah Kompleks & Logik Algoritma	Aktiviti mengod dan mengubah suai (<i>modding</i>) permainan mudah menggunakan Scratch/Blockly di mana murid menyusun algoritma untuk mencari laluan graf terpendek atau memodelkan data.

Empat teras yang dicadangkan dalam Jadual 3 menjawab keperluan khusus domain kognitif Matematik KSSM secara sistematik. Bagi Teras 1, pembelajaran konsep abstrak seperti algebra atau pecahan sering kali terperangkap dalam pengiraan algoritma yang rigid tanpa kefahaman intuitif. Melalui SEGs, visualisasi interaktif diserapkan ke dalam mekanik permainan yang memerlukan murid memahami peraturan asas matematik untuk maju ke peringkat seterusnya (Zaura et al., 2026). Ini membuktikan hujah Gee (2003) bahawa permainan yang baik membolehkan pembelajaran berlaku melalui fasa penerokaan aktif. Seterusnya, bagi Teras 2, geometri tiga dimensi (3D) sering menjadi topik yang sukar diajar menggunakan papan tulis dua dimensi. Penggunaan AR dan VR sebagai manipulatif digital membolehkan murid meneroka bentuk geometri secara kinetik dan spatial (Zekeik et al., 2025). Interaksi fizikal-digital ini menyokong Teori Konstruktivisme Piaget di mana murid membina pemahaman spatial secara aktif melalui manipulasi objek visual.

Di samping itu, bagi Teras 3, penggunaan papan pendahulu dan lencana memberikan pengukuhan afektif jangka pendek yang kuat untuk aktiviti latih tubi harian (Jarrah et al., 2025). Mengikut Teori Penentuan Kendiri (SDT), elemen ini memenuhi keperluan kompetensi pelajar apabila maklum balas segera diberikan selepas jawapan diselesaikan. Akhir sekali, Teras 4 untuk KBAT peringkat tinggi mengubah peranan murid daripada pengguna (*consumers*) kepada pencipta (*creators*) melalui modifikasi kod blok mudah (Jukić Matić & Palha, 2025). Ini memandu murid menyusun semula pemahaman konseptual (*cognitive restructuring*) yang mendalam kerana murid perlu menulis kod matematik yang rigid dan logikal, sekali gus merangsang kemahiran berfikir aras tinggi (KBAT) dan pemikiran komputasi.

5.3. Perbincangan Kestabilan Sistem Sokongan

Inovasi sebenar (*novelty*) kerangka MIAD-M terletak pada komponen Sistem Adaptasi & Sokongan Multidimensi yang secara aktif menangani tiga cabaran utama yang ditemui dalam literatur. Pertama, berkaitan Sokongan Kognitif menentang beban kognitif luaran, dengan memperkenalkan konsep "Pemisahan Fasa Permainan" (mengajar mekanik permainan secara berasingan daripada tugas matematik) dan "Scaffolding Dinamik", MIAD-M berjaya menyederhanakan formula beban kognitif Sweller (1988) dengan mengurangkan beban kognitif luaran (*extraneous load*). Ini membolehkan memori kerja pelajar yang terhad difokuskan sepenuhnya kepada pemprosesan konsep matematik yang erat (*germane load*).

Kedua, dari aspek Sokongan Pedagogi melalui TPACK-Lite, kekangan masa PdP formal (60 minit) dan kepadatan kurikulum diatasi melalui pendekatan modular TPACK-Lite. Dengan menghadkan sesi permainan kepada slot modular 10 hingga 15 minit sama ada sebagai set induksi atau penutup, model ini membolehkan guru mengintegrasikan teknologi tanpa kehilangan masa instruksional bersemuka (Susilawati et al., 2025). Ini merupakan

penyelesaian pragmatik yang sangat diperlukan oleh guru-guru di sekolah awam. Ketiga, menerusi Sokongan Teknikal melalui *Fallback Architecture*, isu jurang digital dan spesifikasi peranti diatasi dengan memperkenalkan seni bina sandaran seperti beralih daripada VR desktop kepada AR mudah alih, serta sokongan mod luar talian (*offline*). Ini memastikan kelangsungan PdP tidak terganggu apabila ralat teknikal berlaku, menjadikannya selaras dengan hasrat kestabilan infrastruktur yang digariskan oleh OECD (2023).

5.4. Implikasi Kajian

Pembangunan MIAD-M memberikan implikasi teoretikal (penyatuan hibrid 5 teori) dan implikasi praktikal kepada guru, pembangun EdTech, dan pembuat dasar (DPD KPM 2023).

5.4.1. Implikasi Teoretikal

Kertas konsep ini menyumbang kepada perkembangan korpus ilmu dengan menyepadukan secara hibrid empat teori pembelajaran (DGBL, Pembelajaran Imersif, SDT, Konstruksionis) di bawah satu payung kerangka adaptif. Sebelum ini, kebanyakan kajian literatur membincangkan teori-teori ini secara terasing. MIAD-M membuktikan bahawa penyatuan teori ini sangat penting untuk memahami ekosistem pembelajaran digital secara holistik, terutamanya dalam menangani isu interaksi kognitif dan afektif murid.

5.4.2. Implikasi Praktikal

Pembinaan kerangka ini memberikan panduan praktikal yang pragmatik melalui pendekatan TPACK-Lite bagi mengurangkan kebimbangan guru terhadap pengurusan masa dan ralat teknikal semasa menyepadukan DGBL di bilik darjah. Pada masa yang sama, kerangka ini bertindak sebagai rujukan reka bentuk (*design guidelines*) untuk pembangun EdTech dan pereka permainan dalam memastikan aplikasi permainan pendidikan masa depan mengimbangi aspek hiburan dengan ketatnya keperluan kandungan akademik Matematik. Di samping itu, model integrasi yang mampan, kos efektif, dan mudah diskalakan ini turut menyokong pihak pembuat dasar di Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) dalam merealisasikan pelaksanaan Dasar Pendidikan Digital (DPD 2023) di sekolah bandar mahupun luar bandar.

5.5. Cadangan Kajian Masa Depan

Memandangkan draf ini merupakan kertas konsep, langkah seterusnya yang sangat kritikal adalah untuk menguji kerangka MIAD-M ini secara empirikal di lapangan:

1. Pengesahan Pakar (*Expert Validation*)

Sebelum modul atau prototaip dibangunkan, kerangka konseptual ini dicadangkan untuk melalui fasa pengesahan pakar menggunakan kaedah *Fuzzy Delphi Method* (FDM) atau *Content Validity Index* (CVI) bersama panel pakar pedagogi matematik dan teknologi pendidikan.

2. Kajian Reka Bentuk dan Pembangunan (*Design and Development Research - DDR*)

Penyelidik masa depan disarankan untuk membina prototaip modul pengajaran Matematik sekolah menengah yang berasaskan kerangka MIAD-M dan menilai kebolehgunaan serta kesesuaiannya melalui penilaian pakar.

3. Kajian Eksperimen Kuasi (*Quasi-Experimental Study*)

Menjalankan ujian perbandingan antara kumpulan pelajar yang mengikuti pembelajaran menggunakan kerangka MIAD-M dengan kumpulan kawalan yang menggunakan kaedah tradisional untuk menguji keberkesanan model terhadap prestasi akademik, penaakulan spatial, dan pengurangan *math anxiety*.

4. Kajian Longitudinal

Mengkaji kesan jangka panjang penggunaan integrasi permainan modular (TPACK-Lite) terhadap motivasi intrinsik pelajar bagi melihat sama ada "kesan jemu" (*wear-out effect*) dalam gamifikasi dapat diatasi melalui model adaptif ini.

5.6. Kesimpulan

Kerangka MIAD-M mencadangkan bahawa keberkesanan integrasi teknologi permainan digital dalam pendidikan matematik bergantung pada kesepadanan antara reka bentuk pedagogi, pengurusan beban kognitif, kompetensi guru dan kesiapsiagaan infrastruktur. Kertas konsep ini mengemukakan panduan awal bahawa teknologi canggih seperti AR, VR, mahupun pengaturcaraan blok memerlukan sistem sokongan yang memelihara kebajikan kognitif pelajar, memudahkan pengurusan guru, serta bersedia dengan ralat infrastruktur teknikal. Walau bagaimanapun, hubungan dan mekanisme yang dicadangkan di dalam kerangka konseptual ini memerlukan pengesahan dan pengujian lanjut melalui penilaian pakar serta kajian empirikal di lapangan.

Pernyataan

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Fakulti Pendidikan, Universiti Kebangsaan Malaysia atas sokongan akademik dan kemudahan infrastruktur yang diberikan sepanjang proses penghasilan kertas konsep ini.

Konflik Kepentingan

Penulis mengesahkan bahawa tiada sebarang konflik kepentingan yang wujud dalam penghasilan serta penerbitan artikel kajian ini.

Kelulusan Etika

Kajian kertas konsep ini dikecualikan daripada keperluan kelulusan etika formal kerana tidak melibatkan penglibatan peserta manusia secara fizikal, eksperimen klinikal, mahupun pengumpulan data peribadi yang sensitif. Analisis yang dijalankan adalah berasaskan sorotan data sekunder daripada tinjauan literatur artikel jurnal jurnal terbitan lepas sepenuhnya.

Sumbangan Penulis

Penulis¹: Pengkonsepsian idea, sorotan literatur, analisis formal tema, penyusunan kerangka konseptual, dan penulisan draf manuskrip asal.

Penulis²: Penyeliaan kajian secara menyeluruh, semakan kritis kandungan pedagogi dan tekno-usahawan, serta penyuntingan akhir manuskrip.

Ketersediaan Data

Data sekunder dan senarai artikel jurnal yang dianalisis dalam kertas konsep ini diperoleh sepenuhnya daripada pangkalan data akademik Scopus dan Web of Science. Strategi pencarian serta kriteria penyaringan artikel telah diperincikan secara jelas dalam bahagian sorotan metodologi kertas konsep ini.

Rujukan

- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>
- Cals, J. W., & Kotz, D. (2013). Effective writing and publishing scientific papers, part X: Measuring research output. *Journal of Clinical Epidemiology*, 66(4), 359. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.01.003>
- Christopoulos, A., Mystakidis, S., Kurczaba, J., Laakso, M. J., & Stylios, C. (2024). Is immersion in 3D virtual games associated with mathematical ability improvement in game-based learning? *International Journal of Science and Mathematics Education*, 22(7), 1479–1499. <https://doi.org/10.1007/s10763-023-10416-5>
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper & Row.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. Plenum Press.
- Dehghanzadeh, H., Farrokhnia, M., Dehghanzadeh, H., Taghipour, K., & Noroozi, O. (2024). Using gamification to support learning in K-12 education: A systematic literature review. *British Journal of Educational Technology*, 55(1), 34–70. <https://doi.org/10.1111/bjet.13354>
- Dengel, A. (2022). What is immersive learning? In *Proceedings of the 2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (pp. 1–5). IEEE. <https://doi.org/10.23919/iLRN55037.2022.9815941>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Ersozlu, Z. (2024). Exploring game-based learning to enhance mathematics teaching and learning: A case study of year 6. *Contemporary Educational Technology*, 16(3), em512. <https://doi.org/10.30935/cedtech/18747>
- Fuentes-Riffo, K., Salcedo-Lagos, P., Sanhueza-Campos, C., Pinacho-Davidson, P., Friz-Carrillo, M., Kotz-Grabole, G., & Espejo-Burkart, F. (2023). The influence of gamification on high school students' motivation in geometry lessons. *Sustainability*, 15(21), 15432. <https://doi.org/10.3390/su152115432>
- Gee, J. P. (2003). *What video games have to teach us about learning and literacy*. Palgrave Macmillan.
- Hainey, T., Connolly, T. M., Boyle, E. A., Wilson, A., & Razak, A. (2016). A systematic literature review of games-based learning empirical evidence in primary, secondary and higher education. *Computers & Education*, 102, 202–223. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.001>
- Hanggara, Y., Qohar, A., & Sukoriyanto. (2024). The impact of augmented reality-based mathematics learning games on students' critical thinking skills. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 18(7), 173–187. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i07.45210>
- Ishak, N. A., Luan, W. S., & Mohd Ayub, A. F. (2023). Digital game-based learning in mathematics education: A systematic review of empirical evidence. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(4), em2243. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13010>
- Jaakkola, E. (2020). Designing conceptual articles: Four approaches. *AMS Review*, 10(1-2), 18–26. <https://doi.org/10.1007/s13162-020-00161-0>

- Jarrah, A. M., Wardat, Y., Fidalgo, P., & Ali, N. (2025). Gamifying mathematics education through Kahoot: Fostering motivation and achievement in the classroom. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 20(10), 1–27. <https://doi.org/10.58459/rptel.2025.20010>
- Jukić Matić, L., & Palha, S. A. G. (2025). Challenges and opportunities in applying constructionist digital games in secondary mathematics education. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 20(3), em0768. <https://doi.org/10.29333/iejme/15124>
- Kafai, Y. B., & Burke, Q. (2015). Constructionist gaming: Understanding the benefits of making games for learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 313–334. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>
- Kasım, S., & Deringöl, Y. (2025). Investigating secondary school students' mathematics anxiety and attitudes towards mathematics in the digital era. *Journal of Pedagogical Research*, 9(1), 88–104. <https://doi.org/10.33902/JPR.2025.210>
- Kementerian Pendidikan Malaysia. (2023). *Dasar Pendidikan Digital (DPD)*. Kementerian Pendidikan Malaysia.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering* (Technical Report No. EBSE 2007-001). Keele University & Durham University.
- Koehler, M. J., Mishra, P., & Cain, W. (2013). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Journal of Education*, 193(3), 13–19. <https://doi.org/10.1177/002205741319300303>
- MacInnis, D. J. (2011). A framework for conceptual contributions in marketing. *Journal of Marketing*, 75(4), 136–154. <https://doi.org/10.1509/jmkg.75.4.136>
- Mandala, A. S., Anwar, L., Sa'dijah, C., & Zulnaidi, H. (2025). Development of mobile augmented reality-based geometry learning games to facilitate spatial reasoning. *Infinity Journal*, 14(2), 323–348. <https://doi.org/10.22460/infinity.v14i2.p323-348>
- 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>
- Moral-Sánchez, S. N., Sánchez-Compañía, M. T., & Sánchez-Cruzado, C. (2022). Flipped learning model enriched with gamification educational platforms for learning geometry. *Pixel-Bit, Revista de Medios y Educación*, 65, 149–182. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.93538>
- OECD. (2023). *Digital education outlook 2023: Towards an effective digital education ecosystem*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/c74f03de-en>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Welch, V., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. International Universities Press.
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 258–283. <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>

- Polydoros, G., & Antoniou, A. S. (2025). Empowering students with learning disabilities: Examining serious digital games' potential for performance and motivation in math education. *Behavioral Sciences*, 15(3), 205. <https://doi.org/10.3390/bs15030205>
- Pramuditya, S. A., Noto, M. S., & Azzumar, F. (2022). Characteristics of students' mathematical problem solving abilities in open-ended-based virtual reality game learning. *Infinity Journal*, 11(2), 255–272. <https://doi.org/10.22460/infinity.v11i2.p255-272>
- Pramuditya, S. A., Widiyasari, R., & Fitriadi, P. (2025). Enhancing 3D geometry learning: A differentiated educational game approach. *Infinity Journal*, 14(4), 1043–1064. <https://doi.org/10.22460/infinity.v14i4.p1043-1064>
- Puentedura, R. R. (2006). *Transformation, technology, and education*. Hippasus.
- Ragni, M., Tarallo, A., & Di Tore, P. A. (2023). Immersive learning environments and mathematics education: A systematic mapping study. *Education and Information Technologies*, 28(8), 9875–9901. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11612-4>
- Sailer, M., & Homner, L. (2020). The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 29, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.100301>
- Sansyzbayev, A., Kadirbayeva, R., Daiyrbekov, S., & Zhetpisbayeva, G. (2025). Applying gamification technology to enhance student engagement in high school mathematics. *International Journal of Information and Education Technology*, 15(7), 1398–1409. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2025.15.7.2105>
- Suparman, La'ia, H. T., Makur, A. P., Turmudi, Juandi, D., Helsa, Y., & Masniladevi. (2024). Development of Ucing Sumput digital game to stabilize students' achievement emotions in mathematics. *Qubahan Academic Journal*, 4(4), 156–177. <https://doi.org/10.48161/qaj.v4n4a297>
- Suri, H. (2011). Purposeful sampling in qualitative research synthesis. *Qualitative Research Journal*, 11(2), 63–75. <https://doi.org/10.3316/QRJ1102063>
- Susilawati, W., Sharov, S., Pasqa, M., & Malik, H. (2025). Integrating realistic mathematics education, AI, and gamification to enhance students' learning motivation and problem-solving skills. *Journal on Mathematics Education*, 16(4), 1257–1282. <https://doi.org/10.22460/jme.v16i4.pp1257-1282>
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4
- Zaura, B., Elizar, E., Johar, R., Hidayat, M., Tanjung, A., & Mastura, A. (2026). Gamified learning and fraction heroes: Effects on students' mastery and gender differences. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 25, 1–17. <https://doi.org/10.28945/5431>
- Zekeik, H., Mouali, S., Sefian, M. L., & Khalfouni, M. (2025). Enhancing geometry learning with mobile augmented reality: Evaluating the GeoFormeAR application in middle school education. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 19(20), 113–131. <https://doi.org/10.3991/ijim.v19i20.49001>

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of RISE and/or the editor(s). RISE and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.