

Gema Tanpa Suara: Pembangunan Modul Geometri Berasaskan Metaverse bagi Murid Ketidakupayaan Pendengaran di Malaysia

Echoes of Silence: A Metaverse-Based Geometry Module for Deaf and Hard-of-Hearing Students

Chong Ai Peng, Wong Kung-Teck*, Vestly Kong Liang Soon
Fakulti Pembangunan Manusia, Universiti Pendidikan Sultan Idris,
35900 Tanjong Malim, Perak, Malaysia

*Corresponding author: thomas@fpm.upsi.edu.my

Diterima: 23 September 2025; **Disemak semula:** 01 November 2025 **Diterima:** 16 November 2025;
Diterbitkan: 02 Disember 2025

Untuk memetik artikel ini (APA): Chong, A. P., Wong, K. T., & Kong, V. L. S. (2025). Gema Tanpa Suara: Pembangunan Modul Geometri Berasaskan Metaverse bagi Murid Ketidakupayaan Pendengaran di Malaysia. *Jurnal Pendidikan Bitara UPSI*, 18(2), 13-30. <https://doi.org/10.37134/bitara.vol18.2.2.2025>

Abstrak

Dalam era pascapandemik, metaverse muncul sebagai inovasi berimpak tinggi dalam pendidikan, namun aplikasinya dalam pendidikan khas di Malaysia masih kurang diterokai. Bagi murid ketidakupayaan pendengaran (MKP), metaverse berpotensi mewujudkan ruang pembelajaran maya interaktif yang merapatkan jurang akses dan memperkayakan pengalaman inklusif. Literatur menunjukkan MKP kerap bergelut memahami konsep geometri, terutamanya peralihan 2D–3D yang menuntut pendekatan berfokus visual-spasial dan kinestetik. Kertas konsep ini membentangkan pembangunan modul geometri berasaskan metaverse (GeoMETriA) untuk memenuhi keperluan tersebut. Objektifnya: (1) meneroka potensi metaverse sebagai medium pembelajaran interaktif bagi MKP, (2) mengenal pasti ciri pembelajaran imersif yang inklusif dan mesra MKP, dan (3) menentukan teori pembelajaran yang menyokong reka bentuk modul geometri dalam persekitaran metaverse. Pendekatan konseptual berasaskan tinjauan literatur sistematik digunakan. Kerangka konseptual disintesis daripada literatur pedagogi digital dan dipandu oleh Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia (CTML), Model Kognitif-Afektif Pembelajaran Imersif (CAMIL), dan Konstruktivisme Sosial Vygotsky. Modul ini dijangka meningkatkan kefahaman geometri 2D–3D, memupuk efikasi sendiri dan motivasi, serta mengurangkan beban kognitif melalui interaktiviti, scaffolding, dan sokongan sosial-emosi. Implikasi merangkumi pengukuhan pedagogi inklusif berasaskan Reka Bentuk Pembelajaran Sejagat (UDL) dan penyepaduan pembelajaran visual-spasial bagi menyokong transformasi digital pendidikan khas di Malaysia.

Kata kunci metaverse; pendidikan khas; murid ketidakupayaan pendengaran; geometri; pembelajaran imersif

Abstract

In the post-pandemic era, the metaverse has emerged as a high-impact educational innovation, yet its application in special education in Malaysia remains underexplored. Deaf and Hard-of-Hearing (DHH), the metaverse has the potential to create interactive virtual learning spaces that bridge access gaps and enrich inclusive experiences. The literature indicates that DHH students often struggle to understand geometric concepts, particularly the transition between two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) forms, which calls for approaches that foreground visual-spatial and kinesthetic needs. This concept paper presents the development of a metaverse-based geometry learning module (GeoMETriA) to address these needs. Its objectives are to: (1) (1) to explore the potential of the metaverse as an interactive learning medium for DHH students, (2) to identify inclusive and accessible immersive learning features, and (3) to determine the most relevant learning theories to support the design of a geometry module within the metaverse environment. A conceptual approach grounded in a systematic literature review was employed. The conceptual framework was synthesized from the digital pedagogy literature and guided by three key theories: the Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML), the Cognitive-Affective

Model of Immersive Learning (CAMIL), and Vygotsky's Social Constructivism. The module is expected to enhance understanding of 2D–3D geometry, foster self-efficacy and motivation, and reduce cognitive load through virtual interactivity, scaffolding, and sustained socio-emotional support. The implications include strengthening inclusive pedagogy based on Universal Design for Learning (UDL) and integrating visual–spatial learning to support the digital transformation of special education in Malaysia.

Keywords: *Metaverse, special education, deaf and hard-of-hearing students, immersive learning*

PENGENALAN

Dalam era Revolusi Industri 4.0 dan menuju Masyarakat 5.0, landskap pendidikan global sedang berubah pesat hasil kemajuan teknologi seperti Internet Kebendaan (IoT), Kecerdasan Buatan (AI), data raya dan pengkomputeran kognitif. Salah satu inovasi yang semakin mendapat perhatian ialah metaverse, iaitu persekitaran maya tiga dimensi yang menggabungkan realiti maya (VR), realiti terimbuh (AR) dan realiti campuran (MR) bagi menyediakan pembelajaran yang lebih imersif dan kolaboratif (Diao & Su, 2025; Ghoulam & Bouikhalene, 2024). Dalam konteks pendidikan, metaverse berpotensi memperkaya proses pengajaran dan pembelajaran (PdP) melalui interaksi avatar, kolaborasi maya, serta penyampaian kandungan yang lebih kontekstual dan menarik (Chong et al., 2025; Mystakidis & Lympouridis, 2024; Onu et al., 2024).

Di Malaysia, usaha awal mengintegrasikan metaverse dalam pendidikan telah dimulakan melalui inisiatif seperti SEGi MetaCampus (SEGi, 2022) dan Minecraft Education Challenge anjuran Kementerian Pendidikan Malaysia (Minecraft Education Challenge, 2024). Kedua-dua inisiatif ini menunjukkan potensi metaverse sebagai medium pembelajaran digital yang fleksibel, inklusif dan adaptif. Namun, penyelidikan yang menumpukan kepada murid berkeperluan khas masih terhad (Tili et al., 2022), manakala isu akses yang adil dan kebolehcapaian terus menjadi cabaran utama (Altinay et al., 2024). Kajian terdahulu menegaskan bahawa reka bentuk platform metaverse perlu berasaskan keperluan sebenar murid dengan penglibatan aktif semua pihak berkepentingan dari peringkat reka bentuk hingga pelaksanaan (Altinay et al., 2024; UNESCO, 2023; Fernández-Batanero et al., 2022). Oleh itu, penerapan Reka Bentuk Pembelajaran Sejagat (Universal Design for Learning, UDL) amat penting untuk memastikan akses yang setara dan keadilan pedagogi (Bicen & Adedoyin, 2022a, 2022b; Othman et al., 2024).

Keperluan ini lebih mendesak apabila melibatkan murid ketidakupayaan pendengaran (MKP). Berdasarkan data Bahagian Pendidikan Khas (2024), MKP merupakan antara kumpulan terbesar dalam sistem pendidikan khas negara dengan 3,879 murid berdaftar di bawah Sekolah Pendidikan Khas (SPK), Program Pendidikan Khas Integrasi (PPKI) dan Program Pendidikan Inklusif (PPI). Walaupun kategori ketidakupayaan pembelajaran mencatat jumlah tertinggi, MKP kekal sebagai kumpulan signifikan yang memerlukan intervensi pengajaran yang lebih khusus dan berkesan.

Kajian menunjukkan bahawa MKP sering menghadapi kesukaran dalam topik geometri, terutamanya dalam mendefinisikan bentuk seperti segi empat tepat secara formal dan memahami hubungan antara segi empat sama serta segi empat tepat. Kekangan ini berpunca daripada keterbatasan komunikasi matematik, memandangkan tidak semua istilah matematik mempunyai padanan jelas dalam bahasa isyarat (Husniati et al., 2020; Dessbesel et al., 2018). Kaedah pengajaran yang terlalu bergantung pada komunikasi lisan dan bahan bertulis mengehadkan penglibatan MKP, sedangkan mereka lebih berkesan belajar melalui visual, animasi, objek tiga dimensi dan bahasa isyarat (Hasanah & Yurmalia, 2022; Yusuf et al., 2022). Keadaan ini menunjukkan keperluan mendesak untuk kaedah pembelajaran yang lebih visual, interaktif dan berasaskan pengalaman.

Sehubungan itu, jurang yang dikenal pasti ialah ketiadaan modul geometri berasaskan metaverse yang dibangunkan khusus untuk MKP dalam ekosistem pendidikan KPM. Modul sedia ada

masih berasaskan nota bertulis dan tidak menyokong komunikasi visual atau interaktif. Oleh itu, pembangunan modul geometri berasaskan metaverse dicadangkan sebagai inisiatif inovatif untuk memperkukuh pembelajaran geometri MKP melalui pengalaman pembelajaran maya yang imersif, interaktif dan mesra bahasa isyarat.

Isu dan Cabaran dalam Pendidikan Murid Ketidakupayaan Pendengaran (MKP)

1. Komunikasi & Bahasa Isyarat

Walaupun pelbagai inisiatif telah diperkenalkan untuk memacu pendidikan digital dan menyokong murid berkeperluan pendidikan khas, pendekatan pedagogi yang benar-benar memenuhi keperluan unik MKP masih kurang diberi perhatian (Oliveira et al., 2022; Silva et al., 2022). Sebahagian besar program lebih menekankan penyediaan kemudahan teknologi asas seperti peranti dan sambungan internet berbanding pembangunan bahan pembelajaran interaktif yang menyepadukan bahasa isyarat, kapsyen adaptif dan objek manipulatif (Oliveira et al., 2022).

Keterbatasan penguasaan bahasa lisan dikaitkan dengan pencapaian akademik yang rendah, manakala akses kepada sari kata yang tepat, jurubahasa isyarat, dan interaksi dua hala sering tidak konsisten (Marschark & Knoors, 2012). Pengalaman semasa pandemik COVID-19 turut menyerlahkan kekangan ini, apabila MKP dilaporkan “terpinggir secara digital” akibat kekurangan sokongan komunikasi (Shin, 2020).

2. Pedagogi dan Bahan Visual

Kajian terdahulu menunjukkan bahawa pendekatan pengajaran sedia ada masih berorientasikan ceramah dan teks bertulis, yang tidak sejajar dengan gaya pembelajaran visual-kinestetik MKP (Moore, 2010). Hasanah dan Yurmalia (2022) menegaskan bahawa MKP lebih mudah memahami maklumat melalui ilustrasi, animasi dan bahan manipulatif yang bersifat visual. Dalam konteks tempatan, kajian melaporkan amalan PdPc masih cenderung berasaskan teks/nota dan platform tanpa sokongan bahasa isyarat, dengan penggunaan BBM visual-interaktif yang terhad; keadaan ini mengurangkan kebolehpasaran dan penglibatan aktif MKP (Mohamad Suhaimi & Alias, 2022; Muniandy & Zaharudin, 2024; Tan, 2022).

Hal ini menyebabkan proses pembelajaran bersifat pasif dan berpusat kepada guru. Selain itu, kekurangan tenaga pengajar yang mahir menggunakan teknologi visual dan kurangnya integrasi bahasa isyarat dalam kandungan digital turut mengurangkan keberkesanan penyampaian (Yusuf et al., 2022). Justeru, MKP berisiko mengalami jurang dalam penguasaan konsep yang abstrak serta kehilangan minat terhadap mata pelajaran yang memerlukan pemahaman simbolik dan logik seperti Matematik.

3. Isu Pembelajaran Geometri

Cabaran ini menjadi lebih ketara dalam pembelajaran geometri, yang memerlukan kemahiran visual-spasial dan keupayaan abstraksi ruang. Kajian menunjukkan bahawa MKP berisiko mengalami jurang dalam penguasaan konsep geometri abstrak, termasuk dalam memahami hubungan antara bentuk dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) (Kritzer, 2009, 2012; Slezáková, 2011). Kekangan komunikasi matematik juga menambah kesukaran, kerana tidak semua istilah matematik mempunyai padanan bahasa isyarat yang jelas (Husniati et al., 2020).

4. Keperluan Inovasi Teknologi Metaverse

Gabungan cabaran komunikasi, kekurangan bahan visual interaktif, dan keperluan visual-spasial khusus menjelaskan mengapa pendekatan konvensional sukar menutup jurang pembelajaran geometri MKP. Teknologi imersif seperti metaverse dan realiti lanjutan (XR) berpotensi besar dalam memenuhi keperluan ini dengan menyediakan persekitaran pembelajaran tiga dimensi, avatar berbahasa isyarat,

kapsyen dinamik dan aktiviti kolaboratif maya (Chong et al., 2025; Zhang & Chemnad, 2024). Oleh itu, kertas konsep ini membina asas teori dan kerangka konseptual bagi pembangunan modul geometri berasaskan metaverse yang menyepadukan komunikasi mesra isyarat, visualisasi 2D–3D, dan bahan manipulatif maya untuk menyokong PdPc MKP. Objektif khusus yang dicadangkan adalah untuk:

1. Meneroka potensi metaverse sebagai medium pembelajaran interaktif yang dapat menyokong gaya pembelajaran visual–spasial dan kinestetik murid ketidakupayaan pendengaran.
2. Mengenal pasti ciri-ciri utama pembelajaran imersif yang inklusif dan mesra MKP.
3. Menentukan teori pembelajaran yang relevan untuk dijadikan asas reka bentuk modul geometri dalam persekitaran metaverse.

KAJIAN LITERATUR

a. Prevalens Kehilangan Pendengaran dan Implikasinya terhadap Pendidikan

Pertubuhan Kesihatan Sedunia (WHO, 2021) menganggarkan sekitar 430 juta individu di dunia mengalami gangguan pendengaran yang memerlukan intervensi, termasuk 34 juta kanak-kanak, Angka ini dijangka meningkat kepada 700 juta menjelang tahun 2050, bersamaan satu daripada setiap sepuluh individu. Trend ini menuntut perhatian serius terhadap keperluan sistem pendidikan yang lebih inklusif dan adaptif.

Di Malaysia, sistem pendidikan khas telah memperkenalkan pendekatan komunikasi multimodal bagi menyokong pembelajaran MKP. Dua kaedah utama yang digunakan ialah Komunikasi Seluruh dan Kod Tangan Bahasa Melayu (KTBM). Komunikasi Seluruh menekankan penggunaan serentak pelbagai saluran komunikasi, termasuk pertuturan, isyarat tangan, ekspresi wajah, gerak tubuh, bacaan bibir, dan ejaan jari. Sementara itu, KTBM menyusun isyarat berdasarkan struktur tatabahasa Bahasa Melayu bagi menyampaikan kandungan kurikulum secara visual. Selain itu, pengajaran Bahasa Isyarat Komunikasi (BIK) yang diperkenalkan dalam Kurikulum Standard Sekolah Rendah (KSSR) Pendidikan Khas turut memperkukuh amalan komunikasi pelbagai saluran ini.

Penyelidikan antarabangsa turut mengesahkan keberkesanan pendekatan komunikasi multimodal. Mayer dan Trezek (2023) menegaskan bahawa pendedahan awal yang menggabungkan bahasa isyarat, teknologi bantuan pendengaran, dan bahan visual adalah penting bagi perkembangan bahasa dan literasi MKP. Walaupun teknologi moden seperti implan koklea dapat meningkatkan keupayaan auditori, komunikasi visual tetap menjadi tunjang utama untuk memastikan pemahaman mendalam. Oleh itu, guru pendidikan khas perlu merancang pengajaran yang mengoptimumkan interaksi visual dengan kandungan, termasuk susun atur bilik darjah yang kondusif, penggunaan bahasa yang jelas dan mudah difahami, serta integrasi bahan bantu mengajar berasaskan teknologi.

b. Potensi dan Manfaat Metaverse untuk Pendidikan Khas

Metaverse kini muncul sebagai inovasi digital yang berpotensi merevolusi landskap pendidikan melalui persekitaran maya imersif yang menggabungkan dunia fizikal dan digital. Didorong oleh kemajuan teknologi seperti realiti maya (VR), realiti terimbuh (AR), realiti campuran (MR), dan kecerdasan buatan (AI), metaverse membolehkan interaksi pelbagai deria secara serentak dalam ruang tiga dimensi (Zhang et al., 2022; Sá & Serpa, 2023). Sejak penjenamaan semula *Facebook* kepada *Meta* pada tahun 2021, platform seperti *Roblox*, *Spatial.io*, *Gather Town*, dan *Engage VR* semakin digunakan dalam bilik darjah maya, makmal simulasi, forum interaktif, dan pembelajaran berasaskan gamifikasi (Gradiani, 2024; Ramadhan et al., 2023; Kung & Wong, 2022; Xu et al., 2023). Selari dengan konstruktivisme, manipulasi objek 3D, interaktiviti tinggi dan visualisasi kinestetik amat sesuai untuk domain visual-spasial seperti geometri. Bagi MKP, elemen kapsyen adaptif, avatar berbahasa isyarat, serta visual 3D manipulatif dapat menjambatani kekangan input lisan dan meningkatkan akses pembelajaran setara. Bukti empirikal menunjukkan potensi positif: MKP mampu mengikuti pengajaran geometri dalam persekitaran maya tanpa halangan komunikasi (Domínguez Vázquez & Díaz Palencia, 2024); integrasi metaverse–VR–

pertuturan-ke-teks meningkatkan motivasi/penglibatan (Dani & Azhar, 2022); dan avatar 3D dengan set data bahasa isyarat memperkukuh kefahaman serta interaksi dua hala (Batnasan et al., 2022). Selain komunikasi, avatar memperluas ekspresi diri dan rasa kehadiran (Garcia, 2025; Wang et al., 2025). Dari sudut UDL, metaverse menyokong pelbagai cara persembahan, penglibatan, dan ekspresi (CAST, 2018; Mistretta, 2022), kritikal untuk reka bentuk inklusif MKP. Jadual 1 menunjukkan adopsi metaverse/VR kian meluas tetapi masih jarang menyasar MKP dan domain geometri khususnya pemindahan 2D ke 3D.

Walaupun metaverse mempunyai potensi besar dalam pendidikan khas, pelaksanaannya masih berdepan beberapa cabaran utama. Pertama, kos peranti dan infrastruktur seperti *headset* VR, sambungan internet berkelajuan tinggi dan pelayan maya masih tinggi (Altinay et al., 2024). Kedua, jurang capaian digital antara sekolah bandar dan luar bandar menjejaskan kesamarataan akses (KPM, 2023). Ketiga, literasi digital dan pedagogi guru masih rendah dalam mengendalikan persekitaran imersif (UNESCO, 2023). Di samping itu, reka bentuk platform yang tidak mengambil kira aspek kebolehcapaian seperti ketiadaan sari kata automatik, juru bahasa isyarat digital dan sokongan suara-ke-teks turut mengehadkan penglibatan MKP dalam aktiviti pembelajaran maya (Damasceno et al., 2024; Parker et al., 2024).

Jadual 1 Perbandingan kajian metaverse tempatan vs antarabangsa

Negara	Penyelidik, Tahun	Konteks	Reka bentuk / Platform	Hasil utama	Jurang (Gap) kajian
Malaysia	Lam & Norman (2024)	Sekolah rendah; subjek Sains	Kuasi-eksperimen pra-pasca (1 kumpulan, n=29); metaverse <i>Zepeto</i>	Skor pasca signifikan lebih tinggi; minat tinggi; korelasi minat-pencapaian sederhana	Bukan MKP; bukan geometri; saiz sampel kecil; tiada kumpulan kawalan
Malaysia	Kamsulbahri & Norman (2024)	Sekolah rendah; Pendidikan Sejarah	ka; penggunaan <i>Zepeto</i> untuk	Peningkatan pengetahuan & kefahaman; penglibatan tinggi	Fokus sejarah, bukan geometri; bukan MKP; reka bentuk kajian terhad
Malaysia	Kuppusamy & Norman (2024)	Menengah atas; latihan kemahiran mendengar ESL	Intervensi metaverse <i>Universe by ViewSonic</i> ; pra-pasca + tematik	Peningkatan signifikan kemahiran mendengar; penglibatan & keyakinan naik	Bukan MKP; bukan geometri; konteks bahasa, sampel kecil (n=20)
Malaysia	Jaaffar & Adnan (2025)	Menengah; Sains Komputer (kriptografi)	Pembangunan <i>CipherSphere</i> , model TAM	<i>Perceived Ease of Use (PEU)</i> dan <i>Perceived Usefulness (PU)</i> signifikan terhadap niat guna; bukti minat pelajar	Bukan MKP; bukan geometri; kajian perintis; generalisasi terhad
Korea–Malaysia)	Nasir et al. (2023)	Analisis dasar & amalan Korea; potensi untuk Malaysia	Kertas kajian/analitik; landskap metaverse pendidikan	Garis potensi & cabaran/metapelan untuk Malaysia	Bukan kajian intervensi; tiada data MKP/ geometri khusus
Arab Saudi	Sghaier et al. (2022)	Pelajar berkeperluan khas (pelbagai)	<i>OpenSimulator</i> + <i>Moodle (Sloodle)</i> ; ujian Matematik; perbandingan kaedah	Pencapaian kumpulan metaverse > tradisional; platform stabil	Tidak khusus MKP; tetapan konteks berbeza; isu penskalaan/peranti
Hong Kong	Song et al. (2023)	Pendidikan tinggi; reka	Reka bentuk & ujian	Persepsi positif terhadap	Tiada ukuran hasil pembelajaran

bersambung

		bentuk platform metaverse “Learningverse”	kebolegunaan; tanpa HMD, avatar mirroring	pembelajaran , sosial kognitif dan kehadiran	terkawal; bukan MKP/geometri
Thailand	Pangsapa et al. (2023)	Kursus kemanusiaan; flipped vs non-flipped	Survei + analisis teks; metaverse pelbagai	Pedagogi meramal niat guna; interaksi sosial/NPC bantu penglibatan	Bukti empirikal terhadap prestasi; bukan MKP/geometri
Chile	Bernaschina, (2023)	Sekolah khas; perspektif kebolehcapaian	Tinjauan dokumen; <i>art-gamification</i> & XR	Rangka kejuruteraan inklusif; 10 pilar aksesibiliti	Kertas pandangan (bukan intervensi); tiada data hasil; bukan MKP khusus

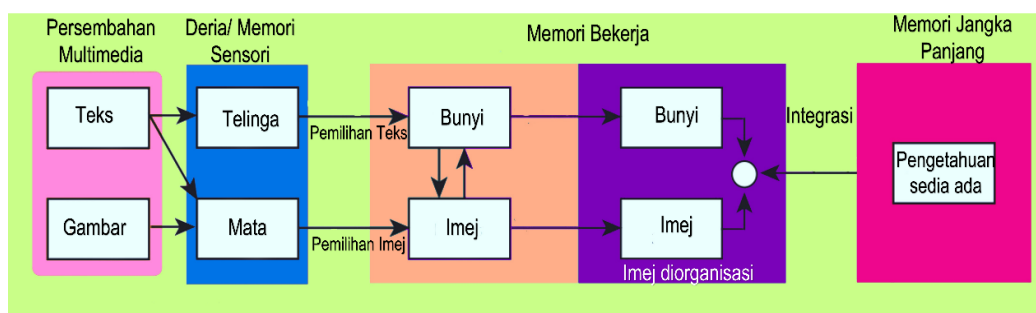
c. Sokongan Teori terhadap Pembelajaran Imersif

Pembangunan modul pembelajaran berasaskan metaverse perlu berpaksikan asas teori yang kukuh agar reka bentuk instruksional benar-benar menyokong keperluan MKP. Tiga teori utama dipilih, iaitu Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia (*Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML*) (Mayer, 2005), Model Kognitif Afektif Pembelajaran Imersif (*Cognitive Affective Model of Immersive Learning, CAMIL*) (Makransky & Petersen, 2021), dan Teori Konstruktivisme Sosial (Vygotsky, 1978). Ketiga-tiga teori ini saling melengkapi dengan menekankan pemprosesan maklumat visual, pengaruh faktor afektif seperti motivasi dan minat, serta peranan interaksi sosial sebagai asas pembelajaran dalam konteks pendidikan khas.

i. Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia (CTML)

Rajah 1 memperihalkan aliran CTML: input visual dan auditori melalui memori deria, dipilih dan diolah dalam memori kerja, lalu diintegrasikan dengan pengetahuan sedia ada dalam memori jangka panjang (Mayer, 2005). CTML menegaskan dua saluran berkapasiti terhad; pembelajaran meningkat apabila perhatian dibimbing, kandungan disegmentasi, dan redundansi dikurangkan (Mayer, 2005). Dalam konteks MKP, saluran visual perlu diutamakan. Bukti terkini menunjukkan persekitaran imersif berkesan apabila kekayaan rangsangan diimbangi dengan kawalan beban kognitif melalui penekanan visual dan penyampaian berperingkat, kerana VR yang terlalu kompleks boleh meningkatkan minat tetapi turut menaikkan beban kognitif (Makransky & Petersen, 2021; Liao & Wang, 2025).

Kajian terkini turut menegaskan bahawa aplikasi CTML dalam persekitaran imersif perlu menyeimbangkan antara kepelbagaian rangsangan visual dan kapasiti pemprosesan murid. Makransky dan Petersen (2021) menunjukkan bahawa persekitaran VR yang kaya dengan elemen interaktif boleh meningkatkan minat dan motivasi, tetapi pada masa sama berpotensi menambah beban kognitif sekiranya tidak direka dengan teliti. Hal ini selari dengan dapatan Liao dan Wang (2025) yang mendapati bahawa penggunaan prinsip CTML seperti penyaluran maklumat secara berperingkat, penekanan visual, dan pengurangan redundansi dapat mengoptimumkan pengalaman pembelajaran dalam VR. Implikasi ini amat relevan untuk MKP kerana integrasi avatar bahasa isyarat, teks adaptif, dan animasi geometri dapat menyediakan saluran visual utama yang jelas dan tersusun.

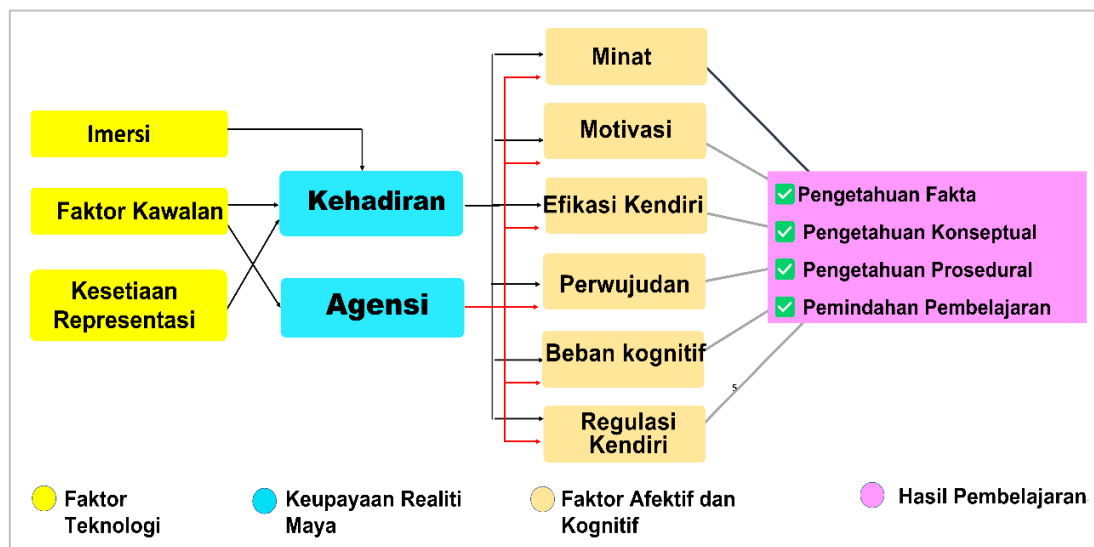


Rajah 1: Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia (Mayer, 2005)

ii. Model Kognitif Afektif Pembelajaran Imersif (CAMIL)

CAMIL menerangkan bagaimana teknologi imersif seperti VR dan metaverse mempengaruhi pembelajaran melalui interaksi faktor kognitif dan afektif, termasuk kehadiran, agensi, minat, motivasi intrinsik, efikasi sendiri, perwujudan, beban kognitif dan regulasi sendiri (Bartels & Hah, 2023; Makransky & Petersen, 2021). Model ini menekankan interaksi antara faktor kognitif dan afektif termasuk kehadiran, agensi, minat, motivasi intrinsik, efikasi sendiri, perwujudan, beban kognitif, dan regulasi sendiri. Menurut Makransky dan Petersen (2021), elemen-elemen ini mempengaruhi pencapaian hasil pembelajaran seperti pengetahuan fakta, konseptual, prosedural, dan pemindahan pembelajaran (Rajah 2). Kesepaduan faktor ini memastikan reka bentuk pedagogi bukan sahaja sejajar dengan keupayaan teknologi, tetapi juga adaptif terhadap keperluan murid, khususnya MKP.

Pengalaman interaktif dan multisensori memperkuat pemprosesan maklumat serta rasa kehadiran, manakala bukti neurosains menunjukkan pengaktifan memori episodik yang menyokong pengekalan dan pemahaman mendalam (Renoult et al., 2019; Sauzéon et al., 2012; Mystakidis & Lympouridis, 2023). Bagi MKP, pengaplikasian CAMIL dalam metaverse dapat menyokong domain psikomotor melalui manipulasi objek 3D, domain afektif melalui motivasi dan empati, serta domain kognitif melalui pemahaman konsep dan regulasi sendiri. Justeru, CAMIL menjadi asas yang kukuh untuk mereka bentuk modul geometri berasaskan metaverse yang bermakna dan inklusif.



Rajah 2: Struktur Model Pembelajaran Imersif Kognitif Afektif (CAMIL)

Nota. Rajah diadaptasi daripada Makransky & Petersen, (2021)

iii. Teori Konstruktivisme Sosial

Teori Konstruktivisme Sosial menegaskan bahawa perkembangan kognitif dimediasi oleh interaksi sosial, budaya dan alat seperti bahasa isyarat; kehilangan pendengaran tidak menghalang intelektual apabila sokongan sesuai disediakan (Vygotsky, 1978; Schneuwly, 2011; Skyer, 2023). Konsep teras ialah Zone of Proximal Development (ZPD), iaitu julat pembelajaran yang dapat dicapai dengan bantuan More Knowledgeable Other (MKO) melalui scaffolding berbentuk maklum balas, soalan terbuka dan kolaborasi, yang terbukti meningkatkan penglibatan serta pemahaman konsep (Nabawi, 2023; Putri, 2024; Swastika & Utami, 2024).

Dalam teknologi pendidikan, strategi berasaskan ZPD menyokong pembelajaran geometri melalui perisian manipulatif dan metaverse yang menyediakan panduan visual, tugas interaktif serta sokongan lisan atau berisyarat (Surgandini et al., 2019; Lee & Ko, 2024). Dengan sokongan adaptif seperti panduan langkah demi langkah, bantuan segera dan maklum balas khusus, MKP boleh beralih daripada bimbingan kepada autonomi sambil meningkatkan keyakinan diri dan kemahiran menyelesaikan masalah (Liu et al., 2025b; Singh et al., 2024).

Jadual 2 menunjukkan kepelbagaian teori dalam penyelidikan metaverse, manakala bagi murid ketidakupayaan pendengaran, CTML, CAMIL dan Konstruktivisme Sosial Vygotsky lebih berpadanan

kerana menekankan pemprosesan visual, interaktiviti afektif dan sokongan proksimal berasaskan interaksi sosial, selari dengan keperluan pembelajaran geometri.

Jadual 2: Pemetaan Teori Pembelajaran yang Mendasari Penyelidikan Metaverse Pendidikan

Penyelidik, Tahun	Negara	Tujuan	Teori
Damasceno et al., 2024	Brazil	Membangunkan dan menguji DALverse, sebuah platform bantu berasaskan Metaverse untuk pelajar kurang upaya.	Teori pembelajaran imersif, Teori Interaksi Manusia-Komputer (HCI)
Weruwanaruk et al., 2023	Thailand	Menyintesis rangka kerja untuk pembelajaran terbalik dalam Metaverse untuk meningkatkan pemahaman konsep matematik Tingkatan 1.	Teori Konstruktivisme
Suh dan Ahn, 2022	Korea Selatan	Menganalisis pengalaman dan sikap pelajar sekolah rendah terhadap Metaverse dari perspektif konstruktivis	Teori Pembelajaran Konstruktivisme; Model TAM Lanjutan
Al-kfairy et al., 2024	Emiriah Arab Bersatu	Mengkaji bagaimana konstruk Teori Kognitif Sosial (SCT) dan risiko mempengaruhi kepercayaan pelajar terhadap platform pendidikan berasaskan Metaverse.	Teori Kognitif Sosial, efikasi sendiri, Teori Kognitif
Stylianou dan Savva, 2022	Cyprus	Meneroka bagaimana gamifikasi dan reka bentuk Metaverse boleh menyokong pembelajaran konstruktivis dan kolaboratif dalam projek berkumpulan.	Teori Konstruktivisme Sosial, Teori Pembelajaran Kolaboratif
Bartels dan Hahne, 2023	Jerman	Meneroka pendekatan yang disahkan untuk mengintegrasikan BIM ke dalam pengajaran Metaverse dan menilai perspektif pelajar.	CTML CAMIL
Lui, Not & Wong, 2023	Hong Kong	Mengkaji bagaimana teori pembelajaran digunakan dalam reka bentuk pelajaran IVR dalam pendidikan tinggi dan mengenal pasti strategi pengajaran berkesan.	CTML CAMIL, Teori Pembelajaran Konstruktivisme
Lo dan Tsai, 2022	Taiwan	Mencadangkan dan menilai seni bina Realiti Maya 3D baharu dalam Metaverse (VRAM) bagi mendidik tentang sumber air.	CTML
Çelik dan Baturay, 2024	Türkey	Mengkaji kesan pengajaran bahasa berasaskan Metaverse (MBLT) terhadap pembelajaran dan pengekaln perkataan, penglibatan dan kehadiran	Teori Konstruktivisme Sosial, Teori Sosiobudaya

bersambung

Penyelidik, Tahun	Negara	Tujuan	Teori
Hatmanto et al., 2023	Indonesia	Untuk meneroka bagaimana persekitaran Metaverse dapat meningkatkan pembelajaran bahasa, kecekapan antara budaya dan autonomi pelajar dalam Pengajaran Bahasa Inggeris (ELT).	Teori Konstruktivisme Sosial

METODOLOGI KAJIAN

1. Reka Bentuk Kajian

Kajian ini berbentuk konseptual berasaskan tinjauan literatur dan sintesis naratif bagi membangunkan prototaip konseptual modul berasaskan metaverse untuk MKP. Tinjauan literatur dilaksanakan secara berterusan merangkumi fasa sebelum, semasa, dan selepas pembangunan konsep, selaras dengan pendekatan fleksibel yang disarankan oleh Merriam dan Tisdell (2015). Sumber merangkumi artikel jurnal berindeks, laporan polisi, prosiding, serta dokumen rasmi pendidikan khas. Hasil yang dibentangkan ialah rangka reka bentuk dan spesifikasi pedagogi modul, disandarkan pada tiga teori teras (CTML, CAMIL, Konstruktivisme Sosial) serta prinsip UDL.

2. Sumber Literatur dan Strategi Carian

- Pangkalan data/Repositori: Scopus, Web of Science, ERIC, IEEE Xplore, SpringerLink, ScienceDirect, Google Scholar, serta sumber tempatan seperti MyJurnal, laporan/dokumen KPM dan portal Bahagian Pendidikan Khas.
- Julat masa carian adalah dari 1 Januari 2021 hingga 30 September 2025 (dengan rujukan asas teori klasik tanpa had tahun, contohnya Mayer 2005; Vygotsky 1978).
- Kata kunci:
“metaverse” OR “virtual reality” OR “immersive learning”; “special education” OR “deaf” OR “hearing impairment” OR “sign language” OR “accessibility”; “geometry” OR “visual-spatial” OR “2D to 3D”; “Universal Design for Learning/UDL”; “CTML”; “CAMIL”; “social constructivism/Vygotsky”
- Kriteria inklusi: 2021–2025; pendidikan imersif/VR/metaverse; fokus keperluan khas/akses; reka bentuk/hasil pedagogi yang boleh dipetakan kepada CTML/CAMIL/Vygotsky/UDL; serta sumber dasar KPM.
- Kriteria eksklusi: artikel bukan akademik tanpa metod/hasil jelas; kajian bukan pendidikan; laporan teknologi semata-mata tanpa implikasi instruksional.

3. Kaedah analisis

Data literatur diringkaskan melalui sintesis naratif berstruktur dan pemetaan matriks. Setiap kajian diekstrak ke dalam jadual dengan dimensi: (a) konteks dan populasi, (b) reka bentuk (c) hasil dan ukuran (pemahaman geometri, penglibatan, beban kognitif, motivasi), dan (d) jurang (saiz sampel, kumpulan kawalan, kebolehpapaian, kesesuaian kurikulum KPM). Dapatan matriks kemudiannya dipadankan dengan prinsip CTML, CAMIL, Konstruktivisme Sosial dan UDL untuk menghasilkan spesifikasi modul: penandaan visual dan segmentasi berperingkat, kapsyen adaptif, avatar bahasa isyarat, maklum balas segera, aktiviti kolaboratif serta scaffolding beransur-ansur.

4. Prosedur Kesahan Pakar

Bagi kesahan kandungan dan kebolehgunaan awal, modul akan disemak oleh 5–7 pakar (pensyarah pendidikan khas, pakar teknologi pendidikan, guru cemerlang matematik) terhadap dokumen modul serta senario tugas berasaskan UDL (CAST, 2018) dan amalan akses (kapsyen/isyarat), disusuli penilaian rasional reka bentuk berpandukan CTML, CAMIL dan Konstruktivisme Sosial (penandaan dan segmentasi, kehadiran/agensi/perwujudan, serta *scaffolding*). Seterusnya, ujian kebolehgunaan perintis akan dilaksanakan dengan 6–8 responden (guru pendidikan khas pendengaran) bagi

mendapatkan maklum balas kualitatif tentang kefahaman antara muka, akses kapsyen, bahasa isyarat dan kefungsi tugas bertahap (Nielsen, 2000). Rajah 3 menunjukkan aliran pembangunan modul berasaskan metaverse dari tinjauan literatur hingga perancangan kajian empirikal.



Rajah 3. Aliran pembangunan modul berasaskan metaverse
Nota. Rajah dicipta oleh penulis

CADANGAN KONSEP INOVATIF: GeoMETriA

1. Definisi dan Skop

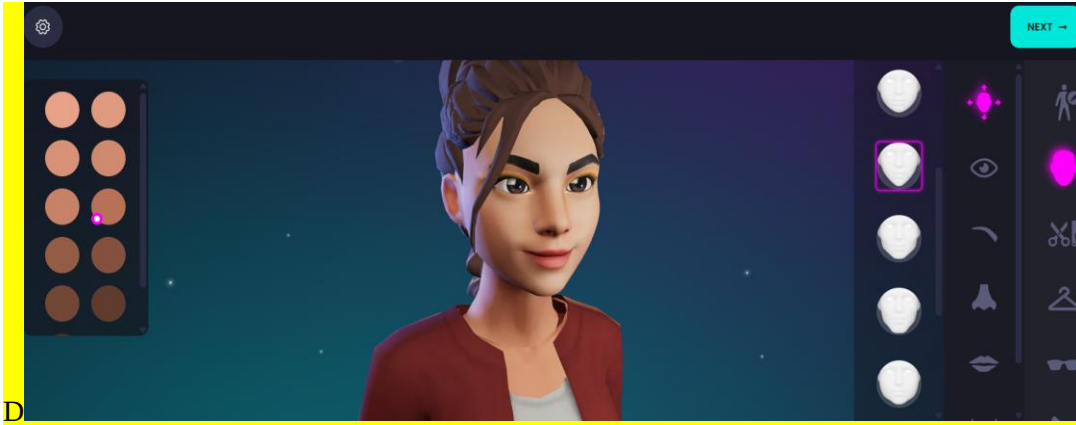
GeoMETriA ialah modul pembelajaran geometri berasaskan metaverse untuk murid ketidakupayaan pendengaran (MKP). Matlamatnya ialah meningkatkan pemahaman dan pemindahan konsep 2D–3D melalui visualisasi manipulatif, scaffolding bertahap, serta sokongan komunikasi bahasa isyarat digital dan kapsyen adaptif. Modul menyediakan pengalaman 3D yang boleh diakses menggunakan avatar, objek manipulatif maya, dan animasi yang menyokong pembelajaran visual-kinestetik. Fokus kandungan merangkumi asas 2D–3D (bentuk, sifat, transformasi, dan visualisasi ruang) yang sejajar dengan profil visual-spasial MKP. GeoMETriA direka modular dan berfasa dengan dua komponen utama: (i) Panduan Penggunaan dan (ii) Ruang Pembelajaran Maya (metaverse). Dalam persekitaran tiga dimensi ini, murid berinteraksi melalui avatar, papan maklumat interaktif dan objek manipulatif, yang telah ditunjukkan berpotensi menyokong penglibatan dalam konteks geometri (Domínguez Vázquez & Díaz Palencia, 2024).

2. Objektif Modul

- Meningkatkan pemahaman konsep 2D–3D dan penaakulan ruang.
- Mengurangkan beban kognitif melalui penandaan visual dan segmentasi berperingkat.
- Memupuk efikasi sendiri, motivasi dan rasa kehadiran melalui perwujudan avatar dan tugas bermakna.
- Menyokong komunikasi matematik berasaskan bahasa isyarat dan kolaborasi rakan sebaya.

3. Kerangka Reka Bentuk

Reka bentuk modul menekankan interaktiviti, kehadiran dan perwakilan diri, di mana avatar bukan sekadar imej digital tetapi berfungsi sebagai medium ekspresi emosi dan simbol identiti, sekali gus meningkatkan rasa pemilikan terhadap pembelajaran (Ball, 2022; Mistretta, 2022; Mack et al., 2023). Selari dengan CAMIL, penyesuaian avatar menyokong kehadiran (*presence*) dan pemilikan (*ownership*) yang mendorong minat serta efikasi sendiri; perasaan ‘hadir’ dalam ruang 3D dan agensi terhadap identiti digital berlaku serentak, lalu mengukuhkan penglibatan tugas bermakna. Rajah 4 memperlihatkan proses penyesuaian avatar di platform metaverse.



Rajah 4: Penyesuaian avatar dalam metaverse membolehkan murid mengekspresikan identiti diri
Nota. Tangkapan skrin platform metaverse; penyesuaian avatar dilakukan oleh penulis.

Modul ini mengintegrasikan strategi instruksional yang sejajar dengan keperluan MKP, termasuk video dengan avatar bahasa isyarat, animasi matematik, tugas gamifikasi, dan interaksi sosial maya. Elemen-elemen ini dirangka untuk meningkatkan motivasi, pemahaman konsep, dan efikasi sendiri pelajar (Samid & BitMint, 2021). Keunikan GeoMETriA turut terserlah melalui penggunaan chatbot pintar dalam ruang metaverse sebagai sokongan bertahap (*scaffolded support*). Chatbot ini berfungsi memberikan bantuan segera dan interaksi berasaskan AI (Yadav et al., 2025), selaras dengan prinsip konstruktivisme sosial Vygotsky mengenai sokongan proksimal. Penyelidikan terkini turut menunjukkan bahawa *chatbot NPC* meningkatkan penglibatan, motivasi, dan autonomi murid melalui perbualan reflektif serta interaksi sosial berasaskan AI (Hwang et al., 2025; Liu et al., 2025a). Rajah 5 menggambarkan persekitaran pembelajaran GeoMETriA dengan avatar murid, papan maklumat interaktif, nota digital, dan chatbot pintar sebagai sokongan bertahap.



Rajah 5: Persekitaran pembelajaran GeoMETriA berasaskan metaverse yang menampilkan avatar, nota interaktif, dan chatbot sebagai sokongan berperingkat

Nota. Tangkapan skrin platform metaverse; persekitaran pembelajaran maya diubahsuai oleh penulis.

Reka bentuk ini membolehkan MKP mengakses kandungan geometri melalui representasi visual, teks adaptif, dan interaksi sosial maya, sekali gus mengurangkan kebergantungan kepada komunikasi lisan. Dengan menyediakan ruang visual-kinestetik yang kaya dan menyerupai dunia sebenar, GeoMETriA mengintegrasikan prinsip UDL serta teori pembelajaran seperti CTML, CAMIL, dan Konstruktivisme Sosial untuk menyokong motivasi, pemahaman konsep, dan efikasi sendiri pelajar (Bartels & Hah, 2023; Lee & Ko, 2024; Mistretta, 2022). Jadual 3 menunjukkan padanan antara teori, ciri reka bentuk GeoMETriA, dan hasil pembelajaran yang disasarkan untuk MKP.

Jadual 3: Padanan teori, ciri reka bentuk GeoMETriA, dan hasil pembelajaran untuk MKP

Teori Pembelajaran	Ciri Reka Bentuk GeoMETriA	Hasil /Indikator Disasarkan
Teori Kognitif Pembelajaran Multimedia (CTML) (Mayer, 2005)	Animasi 3D, sari kata adaptif, isyarat visual, avatar bahasa isyarat	Pemahaman geometri, pengoptimuman saluran visual, pengurangan beban kognitif
Model Kognitif Afektif Pembelajaran Imersif (CAMIL) (Makransky & Petersen, 2021)	Avatar tersuai, tugas gamifikasi, ruang 3D interaktif, persekitaran imersif, maklum balas segera	Peningkatan motivasi intrinsik, efikasi sendiri, rasa kehadiran, minat terhadap pembelajaran
Teori Konstruktivisme Sosial (Vygotsky, 1978)	<i>Chatbot/ MKO</i> digital sebagai <i>scaffolding</i> , aktiviti kolaboratif maya, arahan berisyarat	Sokongan proksimal (<i>ZPD</i>), autonomi bertahap, keyakinan diri, interaksi sosial bermakna
Prinsip UDL (CAST, 2018)		
1. Penglibatan	Avatar tersuai; tugas berasaskan gamifikasi Kapsyen adaptif; avatar bahasa isyarat; animasi transformasi 2D ke 3D; penandaan visual	Peningkatan minat; efikasi sendiri; kadar penyertaan
2. Perwakilan	Manipulasi objek 3D; papan nota digital; rakaman penjelasan dalam bahasa isyarat	Lebih mudah faham istilah dan bentuk 3D, kurang salah faham visual
3. Tindakan & Ekspresi		Hasil kerja pelbagai bentuk; penjelasan lebih tepat

Secara keseluruhan, GeoMETriA melangkaui modul digital konvensional dengan menawarkan pengalaman pembelajaran 3D yang interaktif, fleksibel, dan mesra akses. Novelty modul ini terletak pada integrasi serentak avatar berbahasa isyarat, *scaffolding* AI melalui chatbot pintar, serta reka bentuk visual-kinestetik berasaskan teori pembelajaran yang setakat ini belum pernah diaplikasikan secara sistematik dalam pendidikan khas Malaysia. Pendekatan ini bukan sahaja membantu MKP memahami konsep abstrak geometri secara lebih berkesan, tetapi juga mewakili satu paradigma baharu dalam pedagogi digital inklusif abad ke-21.

JANGKAAN DAPATAN KAJIAN

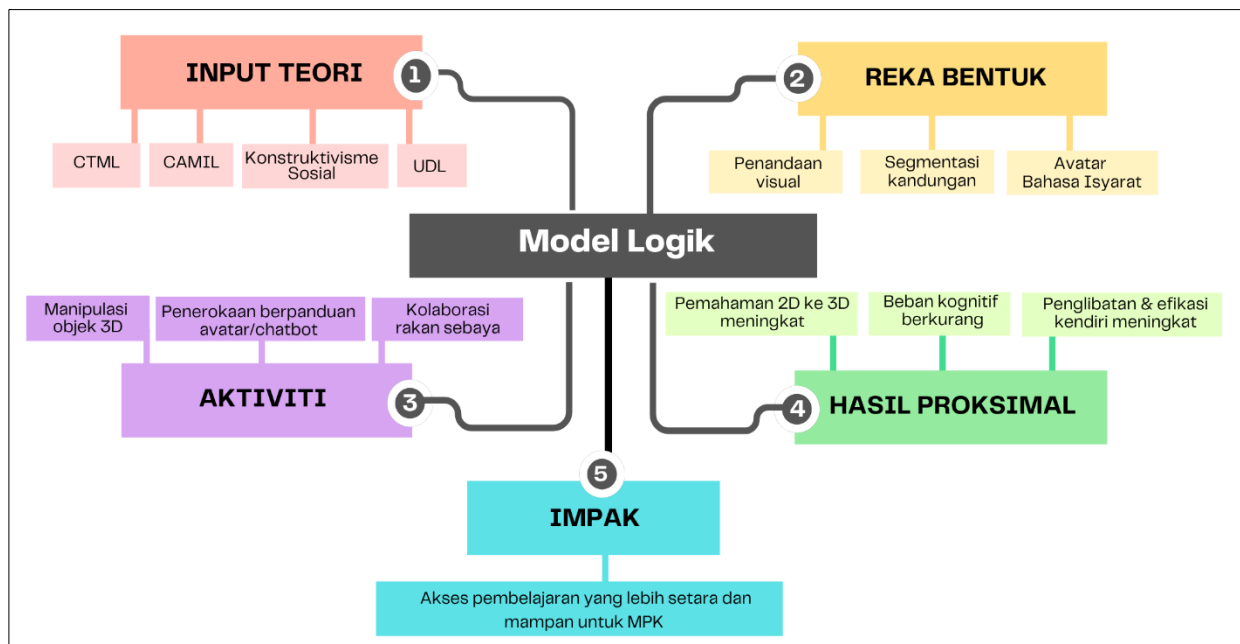
Selaras dengan objektif, modul GeoMETriA dijangka berfungsi sebagai medium pembelajaran metaverse yang menyesuaikan keperluan visual-spasial MKP. Interaktiviti seperti navigasi sendiri, manipulasi objek 3D, serta komunikasi melalui avatar dan chatbot dijangka membantu mengurangkan halangan komunikasi, meningkatkan tumpuan, dan memperkukuh pemahaman konsep geometri dalam persekitaran maya yang selamat, inklusif, dan terkawal. Dari perspektif *UDL*, ciri seperti avatar bahasa isyarat, kapsyen adaptif, visual berkontras tinggi, tugas berasaskan permainan dan maklum balas segera menyediakan pelbagai cara penglibatan, perwakilan dan ekspresi yang menyokong motivasi, efikasi sendiri serta keterlibatan berterusan.

Keberkesanan modul akan dinilai menggunakan indikator-indikator berikut:

1. Peningkatan pemahaman konsep geometri (skor pra–pasca ujian)
2. Peningkatan efikasi sendiri, motivasi dan keterlibatan;
3. Pengurangan beban kognitif dan kesilapan visualisasi.
4. Kebolehcapaian terjamin (penggunaan kapsyen dan kefungsiian avatar bahasa isyarat)

Dari segi kebolehskalaan dan integrasi kurikulum, modul disasarkan kepada MKP Tingkatan 2 (KSSM) bagi topik 3D, dan boleh diadaptasi untuk KSSM Pendidikan Khas serta tahap sekolah rendah melalui pelarasan kedalaman topik, tahap scaffolding, segmentasi kandungan, dan tetapan akses (avatar bahasa isyarat, kapsyen adaptif). Pelaksanaan menyokong bilik darjah biasa, makmal komputer atau mod hibrid VR dengan spesifikasi peranti minimum, disertakan panduan ringkas guru dan latihan mikro. Kandungan disusun mengikut tahap (Tahun 4–6, Tingkatan 1–3) dan ditingkatkan secara beransur dari segi kerumitan untuk penggunaan rentas kelas dan program inklusif tanpa menambah beban infrastruktur.

Rajah 5 memetakan rantai teori → reka bentuk → aktiviti → hasil → impak. Input teori (CTML, CAMIL, Konstruktivisme Sosial, UDL) diterjemahkan kepada strategi reka bentuk seperti penandaan visual, segmentasi kandungan, avatar bahasa isyarat, kapsyen adaptif, chatbot sebagai scaffolding, dan tugas 3D. Aktiviti utama meliputi manipulasi objek 3D, penerokaan berpanduan avatar/chatbot, serta kolaborasi rakan sebaya. Hasil proksimal yang disasarkan ialah peningkatan pemahaman dari 2D ke 3D, pengurangan beban kognitif, serta peningkatan penglibatan dan efikasi sendiri. Impak yang dihasratkan ialah akses pembelajaran yang lebih setara bagi MKP dalam ekosistem KPM.



Rajah 5: Model logik memetakan Input teori → reka bentuk → aktiviti → hasil → impak

Nota. Rajah dicipta oleh penulis

KESIMPULAN

Kertas konsep ini menegaskan tiga perkara utama. Pertama, metaverse berpotensi menyediakan persekitaran 3D yang interaktif dan boleh diakses untuk menyokong pembelajaran geometri murid ketidakupayaan pendengaran (MKP), khususnya dalam pemindahan konsep 2D ke 3D, tumpuan tugas,

dan penglibatan aktif. Kedua, gabungan CTML, CAMIL dan teori Konstruktivisme Sosial serta prinsip UDL menawarkan asas teori yang koheren tentang cara pengolahan visual, faktor afektif dan *scaffolding* sosial saling melengkapi dalam reka bentuk instruksional imersif. Ketiga, dari segi praktikal, GeoMETriA mengemukakan spesifikasi yang boleh terus diaplikasikan dalam PdPc KSSM menengah rendah melalui penandaan visual dan segmentasi, avatar bahasa isyarat, kapsyen adaptif, manipulasi objek 3D, serta sokongan *chatbot* untuk bantuan berperingkat.

Sebagai agenda penyelidikan seterusnya, dicadangkan kajian lapangan perintis/ujian kebolegunaan setempat dengan guru dan MKP bagi menilai kefungsian modul (akses kapsyen/isyarat, aliran aktiviti, keperluan peranti), serta kesan awal menggunakan ukuran pra–pasca geometri 2D–3D, efikasi sendiri/motivasi, beban kognitif, ralat visualisasi, dan metrik penglibatan. Dapatan perintis wajar memaklumkan penambahbaikan reka bentuk sebelum ujian empirikal berskala lebih besar, diikuti perancangan kebolehskalaan ke bilik darjah arus perdana KSSM Pendidikan Khas, termasuk keperluan latihan guru dan sokongan infrastruktur. Pendekatan bertperingkat ini diharapkan mempercepat pembangunan modul metaverse yang benar-benar inklusif, saksama, dan mampan untuk MKP.

RUJUKAN

- Al-kfairy, M., Sendaba, O., & Alfandi, O. (2025). Understanding trust in educational Metaverse: the role of social cognitive theory constructs and perceived risks. *Kybernetes*. <https://doi.org/10.1108/k-11-2024-3057>
- Ball, M. (2022). *The metaverse: And how it will revolutionize everything*. Liveright Publishing.
- Bartels, N., & Hahne, K. (2023). Teaching Building Information Modeling in the Metaverse—An Approach Based on Quantitative and Qualitative Evaluation of the Students Perspective. *Buildings*, 13(9), 2198. <https://doi.org/10.3390/buildings13092198>
- Batnasan, G., Gochoo, M., Otgonbold, M. E., Alnajjar, F., & Shih, T. K. (2022, March). ArSL21L: Arabic sign language letter dataset benchmarking and an educational avatar for metaverse applications. In *2022 IEEE global engineering education conference (educon)* (pp. 1814-1821). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766497>
- Bicen, H., & Adedoyin, O. B. (2022a). Bibliometric analysis of studies on metaverse in education. *International Conference on Virtual Learning*, 17, 179–192. https://doi.org/10.58503/icvl-v17_y202215
- Bicen, H., & Adedoyin, O. B. (2022b). A content analysis of studies on assistive technology in education. *Postmodern Openings*, 13(3), 1–12. <https://doi.org/10.18662/po/13.3/472>
- Boadum, N. K. (2020). *Formative Research on Multimedia Learning Principles in the Instructional Design of Online Courses*. In ProQuest Dissertations and Theses. Diakses pada 17 September 2025, daripada <https://www.proquest.com/dissertations-theses/formative-research>
- Çelik, F., & Baturay, M. H. (2024). The effect of metaverse on L2 vocabulary learning, retention, student engagement, presence, and community feeling. *BMC psychology*, 12(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01549-4>
- Damasceno, A., Silva, L., Barros, E., & Oliveira, F. (2024). Metaverse4Deaf: Assistive Technology for Inclusion of People with Hearing Impairment in Distance Education Through a Metaverse-Based Environment. *International Conference on Computer Supported Education, CSEDU - Proceedings*, 1, 510–517. <https://doi.org/10.5220/0012700200003693>
- Dani, I., & Azhar, A. A. (2022). Interpersonal communication with the deaf in the metaverse age. *Muharrrik: Jurnal Dakwah dan Sosial*, 5(2). <https://doi.org/10.37680/muharrrik.v5i2.1682>
- Dessbesel, R. D. S., Silva, S. D. C. R. D., & Shimazaki, E. M. (2018). O processo de ensino e aprendizagem de Matemática para alunos surdos: Uma revisão sistemática. *Ciência & Educação (Bauru)*, 24, 481–500. <https://doi.org/10.1590/1516-731320180030010>
- Diao, Y., & Su, Y. S. (2025). Exploring the Impact of the Metaverse on Promoting Students' Access to Quality Education: A Meta-Analysis. *IEEE Transactions on Learning Technologies*. Digital News Asia. (2019, July 1). *MDEC equips hearing-impaired students with 3D skills*. <https://www.digitalnewsasia.com/digital-economy/mdec-equips-hearing-impaired-students-3d-skills>
- Domínguez Vázquez, B. C., & Díaz Palencia, J. L. (2024). A classroom experience for teaching and learning of high school geometry through virtual reality. *Pedagogical Research*, 9(3), em0210. <https://doi.org/10.29333/pr/14634>
- Garcia, D. C. (2025). Teachers in the metaverse: The influence of avatar appearance and behavioral realism on perceptions of instructor credibility and teaching effectiveness. *Computers & Education*, 209, 104785. <https://doi.org/10.1080/10494820.2025.2462144>

- Ghoulam, K., & Bouikhalene, B. (2024). Metaverse Applications in Education 4.0: A Decade of Systematic Literature Review. *International Journal of Advanced Corporate Learning (IJAC)*, 17(4), 42–57. <https://doi.org/10.3991/ijac.v17i4.50465>
- Gradiani, S. G. (2024). Literatur Review: Analisis Mengenai Facebook. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 3(1), 102-109. <https://doi.org/10.35473/jamastika.v3i1.2853>
- Hasanah, M., & Yurmalia. (2022). Penggunaan Media Visual dalam Pembelajaran Matematika bagi Peserta Didik Tunarungu. *Jurnal Pendidikan Khusus*, 18(2), 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104785>
- Hatmanto, E. D., Pratolo, B. W., & Intansari, M. (2023). Metaverse Magic: Unveiling the Pedagogical Potential and Transformative Effects on Intercultural Communication in English Language Teaching. *English Language Teaching Educational Journal*, 6(1), 14-31. <https://doi.org/10.12928/eltej.v6i1.8627>
- Husniati, A., Budayasa, I. K., Juniati, D., & Le Lant, C. (2020). Analysis of deaf students understanding math concepts in the topic of geometry (rectangle shape): A case study. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, 8(3), 1213–1229. <https://doi.org/10.17478/jegys.780213>
- Hwang, Y., Lee, S. & Jeon, J. Integrating AI chatbots into the metaverse: Pre-service English teachers' design works and perceptions. *Educ Inf Technol* 30, 4099–4130 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12924-4>
- Jaaffar, F. A. M., & Adnan, N. H. (2025). Metaverse platforms in enhancing student interest in teaching and learning: A pilot study on cryptography using Ciphersphere. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(2), 4384–4403. <https://doi.org/10.47772/IJRISS.2025.9020344>
- Kementerian Pendidikan Malaysia. (2023). *Garis Panduan Peralatan dan Bahan Sokongan Pembelajaran Pendidikan Khas (SPI Bil. 6 Tahun 2023)*. Bahagian Pendidikan Khas. Diperoleh daripada <https://www.moe.gov.my/spi-kpm-bil-6-tahun-2023-garis-panduan-peralatan>
- Kritzer, K. L. (2009). Barely started and already left behind: A descriptive analysis of the mathematics ability demonstrated by young deaf children. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 14(4), 409-421. <https://doi.org/10.1109/MITP.2022.3157206>
- Kung, M. K., & Wong, J. C. F. (2022). When Calculus Learning Collides with The Metaverse. In *International Conference on Computers in Education* (pp. 445-452). <https://library.apsce.net/index.php/ICCE/article/view/4622>
- Kamsulbahri, K. F. K., & Norman, H. (2024). Online learning with metaverse for history education at primary school education level. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 13(2), 965–988. <https://doi.org/10.6007/IJARPED/v13-i2/21502>
- Kuppusamy, R. I., & Norman, H. (2024). Investigating the Effectiveness of Metaverse-Based Training for Improving Listening Skills. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 6(3). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i03.22806>
- Lam, M. W., & Norman, H. (2024). Keberkesanan pembelajaran berasaskan metaverse melalui aplikasi Zepeto bagi subjek sains di kalangan murid sekolah rendah. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 9(4), e002792. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v9i4.2792>
- Lee, J., & Ko, Y. (2024). Comparing metaverse and face-to-face instruction for enhancing English skills and attitudes among EFL adolescents. *Education and Information Technologies*, 1-30. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13162-4>
- Liao, X., & Wang, W. (2025). A Framework for Designing Immersive Virtual Reality Learning Environments Based on the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Curriculum Learning and Exploration*, 2(5).
- Liu, C.-C., Lin, Y.-Y., Lo, F.-Y., Chang, C.-H., & Lin, H.-M. (2025a). From readers to players: Exploring student engagement in a gamified metaverse and its effect on reading interest. *Education and Information Technologies*, 30, 421–447. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13068-1>
- Liu, S. W., Chan, H. Y., & Hou, H. T. (2025b). Role-playing monument exploration: an online educational game with a role-playing mechanism and multi-dimensional scaffolding for monument tours. *Educational technology research and development*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11423-025-10480-3>
- Lo, S. C., & Tsai, H. H. (2022). Design of 3D virtual reality in the metaverse for environmental conservation education based on cognitive theory. *Sensors*, 22(21), 8329. <https://doi.org/10.3390/s22218329>
- Lui, A. L., Not, C., & Wong, G. K. (2023). Theory-based learning design with immersive virtual reality in science education: A systematic review. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 390-432. <http://dx.doi.org/10.1007/s10956-023-10035-2>
- Mack, K., Hsu, R. C. L., Monroy-Hernández, A., Smith, B. A., & Liu, F. (2023). Towards inclusive avatars: Disability representation in avatar platforms. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23)*, Hamburg, Germany. ACM. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581481>

Gema Tanpa Suara: Pembangunan Modul Geometri Berasaskan Metaverse bagi Murid Ketidakupayaan Pendengaran di Malaysia

- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937–958. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581481>
- Marschark, M., & Hauser, P. C. (2012). *How deaf children learn: What parents and teachers need to know*. OUP USA.
- Mayer, C. C., & Trezek, B. J. (2023). Communication, language, and modality in the education of deaf students. *Education Sciences*, 13(10), 1033. <https://doi.org/10.3390/educsci13101033>
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 31–48). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.004>
- Mayer, R. E. (2024). The past, present, and future of the cognitive theory of multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 36(1), 8. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1>
- Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2015). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). Jossey-Bass.
- Minecraft Education Challenge. (2024). *Minecraft Education Challenge 2025*. Diakses pada 17 September 2025, daripada <https://mcedumy.com/mec-2025>
- Mistretta, S. (2022). The metaverse—An alternative education space. *AI, Computer Science and Robotics Technology*. <https://doi.org/10.5772/acrt.05>
- Mohamad Suhaimi, N. A., & Alias, A. (2022). Pengetahuan Guru Pendidikan Khas terhadap Bahan Bantu Mengajar Visual, Auditori dan Kinestetik yang sesuai terhadap Murid Berkeperluan Khas. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 7(5), e001526. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v7i5.1526>
- Moore, D. F. (2010). The history of language and communication issues in deaf education. *The Oxford handbook of deaf studies, language, and education*, 2, 17–30. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195390032.013.0002>
- Mystakidis, S., & Lympouridis, V. (2023). Immersive learning. *Encyclopedia*, 3(2), 396–405. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020026>
- Mystakidis, S., & Lympouridis, V. (2024). Designing simulations in the metaverse: A blueprint for experiential immersive learning experiences. In *Augmented and virtual reality in the metaverse* (pp. 65–79). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57746-8_4
- Muniandy, M. N., & Zaharudin, R. (2024). Optimising learning for hearing-impaired students: A comparative analysis of Let's Write, a mobile application, and Google Classroom learning platform on usability, learning motivation and academic performance. *International Journal of Modern Education*, 6(21), 183–202. <https://doi.org/10.35631/IJMOE.621014>
- Nabawi, M. (2023). Penerapan Scaffolding Pada Zone Of Proximal Development (Zpd) Dalam Mata Pelajaran Sejarah Di Sma Negeri 2 Malang Kelas Xii Mipa 4. *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 3(11), 3–3. <https://doi.org/10.17977/um068.v3.i11.2023.3>
- Nasir, N. B., Moon, J., & Kim, S. B. (2023, August). Metaverse in education: Insights from South Korea and potentials for Malaysia. In *2023 IEEE 8th International Conference on Software Engineering and Computer Systems (ICSECS)* (pp. 84–88). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSECS58457.2023.10256325>
- Onu, P.; Pradhan, A.; Mbohwa, C. Potential to use metaverse for future teaching and learning. *Educ. Inf. Technol.* 2024, 29, 8893–8924. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12167-9>
- Othman, A., Chemnad, K., Hassanien, A. E., Tlili, A., Zhang, C. Y., Al-Thani, D., ... & Altınay, Z. (2024). Accessible metaverse: A theoretical framework for accessibility and inclusion in the metaverse. *Multimodal Technologies and Interaction*, 8(3), 21. <https://doi.org/10.3390/mti8030021>
- Pangsapa, P., Wong, P. P. Y., Wong, G. W. C., Techanamurthy, U., Mohamad, W. S. W., & Jiandong, D. S. (2023, March). Enhancing humanities learning with metaverse technology: A study on student engagement and performance. In *2023 11th International Conference on Information and Education Technology (ICIET)* (pp. 251–255). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICIET56899.2023.10111125>
- Parker, C., Yoo, S., Fredericks, J., Tran, T. T. M., Williamson, J. R., Lee, Y., & Woo, W. (2024). Building a metaverse for all: Opportunities and challenges for future inclusive and accessible virtual environments. In *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1145/3613905.3636307>
- Putri, E. R. W. E. (2024). Scaffolding Pada Zone Of Proximal Development (ZPD) Dalam Pembelajaran Sosiologi Materi Metode Penelitian Sosial Kelas X-2 Sma Negeri 7 Malang. *Jurnal Integrasi dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial*, 4(8), 9–9. <https://doi.org/10.17977/um063v4i8p9>
- Radanliev, P., De Roure, D., Novitzky, P., & Sluganovic, I. (2024). Accessibility and inclusiveness of new information and communication technologies for disabled users and content creators in the Metaverse. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 19(5), 1849–1863. <https://doi.org/10.1080/17483107.2023.2241882>

- Ramadhan, A., Suryodiningrat, S. P., & Mahendra, I. (2023). The Fundamentals of Metaverse: A Review on Types, Components and Opportunities. *Journal of Information and Organizational* <https://doi.org/10.31341/jios.47.1.8>
- Renoult, L., Irish, M., Moscovitch, M., & Rugg, M. D. (2019). From knowing to remembering: The semantic-episodic distinction. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(12), 1041–1057. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.09.008>
- Sá, M. J., & Serpa, S. (2023). Metaverse as a learning environment: Some considerations. *Sustainability*, 15(3), 2186. <https://doi.org/10.3390/su15032186>
- Sauzéon, H., Pala, P. A., Larrue, F., Wallet, G., Déjos, M., Zheng, X., Guitton, P., & N’Kaoua, B. (2012). The use of virtual reality for episodic memory assessment. *Experimental Psychology*, 59(2), 99–108. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000131>
- Schneuwly, B. (1994). Contradiction and development: Vygotsky and paedology. *European Journal of Psychology of Education*, 9, 281–291. <https://doi.org/10.1007/BF03172901>
- SEGi University & Colleges. (2022, July 22). *SEGi debuts Malaysia’s first university in the metaverse*. SEGi University & Colleges. Diakses pada 17 September 2025, daripada <https://www.segi.edu.my/segi-debuts-malaysias-first-university-in-the-metaverse>
- Sghaier, S., Elfakki, A. O., & Alotaibi, A. A. (2022). Development of an intelligent system based on metaverse learning for students with disabilities. *Frontiers in Robotics and AI*, 9, 1006921. <https://doi.org/10.3389/frobt.2022.1006921>
- Shin, S. (2020). The forgotten victims of the pandemic: The Deaf Community. *OZY*. <https://www.ozy.com/news-and-politics/the-forgotten-victims-of-the-pandemic-the-deaf-community/303802>. Published April, 20. <https://www.ozy.com/news-and-politics/the-forgotten-victims-of-the-pandemic-the-deaf-community/303802>
- Skyer, M. E. (2023). The deaf biosocial condition: Metaparadigmatic lessons from and beyond Vygotsky’s deaf pedagogy research. *American Annals of the Deaf*, 168(1), 128–161. <https://doi.org/10.1353/aad.2023.a904170>
- Slezáková, J. (2011). *Geometrická představivost v rovině* [Doctoral dissertation, PrF UP, Olomouc].
- Song, Y., Cao, J., Wu, K., Yu, P. L. H., & Lee, J. C. K. (2023). Developing “Learningverse”—A 3-D metaverse platform to support teaching, social, and cognitive presences. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(6), 1165–1178. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3276574>
- Suh, W., & Ahn, S. (2022). Utilizing the metaverse for learner-centered constructivist education in the post-pandemic era: An analysis of elementary school students. *Journal of intelligence*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.3390/jintelligence10010017>
- Surgandini, A., Sampoerno, P. D., & Noornia, A. (2019). Pengembangan pembelajaran dengan pendekatan PMRI berbantuan GeoGebra untuk membangun pemahaman konsep transformasi geometri. *Prima: Jurnal Pendidikan Matematika*, 3(2), 85–102. <https://doi.org/10.31000/prima.v3i2.932>
- Swastika, A. I., & Utami, I. W. P. (2025). Penerapan scaffolding pada Zone of Proximal Development (ZPD) kelas X DKV-2 di SMK terhadap mata pelajaran sejarah. *Journal of Innovation and Teacher Professionalism*, 3(1), 68–76. <https://doi.org/10.17977/um084v3i12025p68-76>
- Tan, C. L. (2022). Penggunaan bahan bantu mengajar berbentuk multimedia dalam mengajar operasi tambah bagi murid-murid berkeperluan pendidikan khas. Dalam *Amalan Terbaik dalam Pendidikan Khas dan Inklusif (Negeri Melaka)*, Jilid 1 (hlm. 95–102). Melaka: SEAMEO SEN & Jabatan Pendidikan Negeri Melaka. ISBN 978-967-15154-4-0.
- Tlili, A., Huang, R., Shehata, B., Liu, D., Zhao, J., Metwally, A. H. S., ... Burgos, D. (2022). Is Metaverse in education a blessing or a curse: a combined content and bibliometric analysis. *Smart Learning Environments*, 9(1), 1–31. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00205-x>
- Virtualtech Frontier. (2023). *Malaysia unveils region’s first school-based metaverse education program: MetaSkool*. EIN Presswire. Diakses pada 17 September 2025, daripada <https://www.einpresswire.com/article/693018903/malaysia-unveils-region-s-firstschool-based-metaverse-education-program-metaskool>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wang, L., Zhang, Q., & Sun, D. (2025). Exploring the impact of an augmented reality- integrated mathematics curriculum on students’ spatial skills in elementary school. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23(2), 387–414. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10473-3>
- Weruwanaruk, P., Kanjung, I., Sarakorn, W., & Moeikao, N. (2023). The designing framework for flipped learning environment on metaverse to enhance mathematical conceptual understanding for seventh grade students. *Iiai Letters on Institutional Research*, 3, 1. <https://doi:10.52731/lir.v003.141>
- World Health Organization. (2021). *World report on hearing*. World Health Organization. Diakses pada 17 September 2025, daripada <https://www.who.int/publications/i/item/9789240020481>

Gema Tanpa Suara: Pembangunan Modul Geometri Berasaskan Metaverse bagi Murid Ketidakupayaan Pendengaran di Malaysia

- Xu, W., Zhang, N., & Wang, M. (2023). The impact of interaction on continuous use in online learning platforms: metaverse perspective. *Internet Research*, 34(1), 79–106. <https://doi.org/10.1108/INTR-08-2022-0600>
- Yadav, R., Nghiem, X. H., & Yadav, M. (2025). Adaptive AI in Metaverse Language Education. In *Harnessing Chatbots for Effective Language Teaching* (pp. 49- 74). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-9974-3.ch003>
- Yusuf, M., Adriyanto, F., Priyono, P., & Rahman, A. (2022). Pedagogical Problem Faced by Teachers in Communication and Language Learning for Deaf Students in Special Schools. In *3rd Progress in Social Science, Humanities and Education Research Symposium (PSSHRS 2021)* (pp. 15-27). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-2-494069-33-6_3
- Zhang, C. Y., & Chemnad, K. (2024). Is the metaverse accessible? An expert opinion. *Nafath*, 9(25). <https://doi.org/10.54455/MCN2507>
- Zhang, X., Chen, Y., Hu, L., & Wang, Y. (2022). The metaverse in education: Definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics. *Frontiers in Psychology*, 13, 1016300. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1016300>