

Kajian Tinjauan Literatur Sistematis mengenai Model, Strategi dan Faktor yang mempengaruhi keberkesanan pelaksanaan Pembelajaran Digital dalam Pendidikan Sains STEM di Pengajian Tinggi

(Systematic Literature Review on Models, Strategies and Factors affecting the success of Digital Learning in STEM Education in Higher Education)

Nur Diyana Mohd Din* & Nurazidawati Mohamad Arsad

Pendidikan Sains, Fakulti Pendidikan Universiti, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia

*Pengarang Koresponden: p144858@siswa.ukm.edu.my

Diserah: 15 Januari 2026 / Diterima: 30 Julai 2026

Abstrak. Kajian tinjauan literatur sistematik ini bertujuan mengenal pasti model, strategi dan faktor yang mempengaruhi keberkesanan pelaksanaan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi. Sebanyak 46 artikel daripada pangkalan data Web of Science telah dianalisis menggunakan pendekatan kajian literatur sistematik. Dapatan menunjukkan bahawa model seperti *technological pedagogical content knowledge* memainkan peranan penting dalam merancang serta menilai keberkesanan pelaksanaan pembelajaran digital. Strategi yang dikenal pasti merangkumi penggunaan platform digital, projek digital, simulasi dan permainan digital yang terbukti meningkatkan penglibatan, motivasi serta pemahaman pelajar. Faktor keberkesanan melibatkan domain kognitif, afektif dan tingkah laku seperti penglibatan aktif, keyakinan diri, sokongan sosial dan kemahiran teknikal. Kajian ini mencadangkan agar penyelidikan masa depan menggunakan pengukuran psikometrik bagi menilai faktor afektif dan tingkah laku dengan lebih mendalam serta memperluaskan kajian kepada populasi pelajar berpendapatan rendah yang mungkin menghadapi cabaran teknologi dan emosi yang berbeza. Kajian ini memberikan gambaran menyeluruh tentang model dan strategi bagi meningkatkan keberkesanan pembelajaran digital di pendidikan tinggi.

Kata kunci Pembelajaran digital; model pembelajaran digital; strategi pembelajaran digital; keberkesanan pembelajaran; pendidikan STEM.

Abstract. This systematic literature review aims to identify models, strategies and factors that influence the effectiveness of digital learning implementation in STEM education at the higher education level. A total of 46 articles obtained from the Web of Science (WOS) database were analysed using the systematic literature review approach. Findings indicate that models such as technological pedagogical content knowledge play a significant role in planning and assessing the effectiveness of digital learning implementation. Identified strategies include the use of digital platforms, digital projects, simulations, and game-based learning, all of which have been shown to enhance students' engagement, motivation and comprehension. The factors influencing effectiveness encompass cognitive, affective and behavioural domains, such as active participation, self-confidence, social support, and technical skills. The study recommends that future research adopt psychometric measurements to better assess affective and behavioural factors and expand investigations to students from lower socio-economic backgrounds who may face different technological and emotional challenges. This study provides a comprehensive overview of models and strategies to enhance the effectiveness of digital learning in higher education.

Keywords Digital learning; digital learning models; digital learning strategies; learning effectiveness; STEM education.

Pengenalan

Pembelajaran digital kini menjadi teras sistem pendidikan tinggi berikutan perkembangan pesat teknologi maklumat dan komunikasi (*ICT*) yang menjadikan pengajaran lebih fleksibel, interaktif dan berpusatkan pelajar. Dalam bidang STEM (Sains, Teknologi, Kejuruteraan dan Matematik), pendekatan ini membantu pelajar memahami konsep kompleks melalui platform digital, simulasi serta aktiviti interaktif yang sejajar dengan keperluan tenaga kerja berteknologi tinggi abad ke-21 seperti Amerika Syarikat, Jepun dan Australia (Yusof et al., 2021).

Walaupun banyak inisiatif pembelajaran digital dilaksanakan, keberkesanannya masih bergantung pada model dan strategi yang digunakan serta faktor yang mempengaruhi pelaksanaannya. Justeru, kajian tinjauan literatur sistematik (*SLR*) ini bertujuan mengenal pasti model, strategi dan faktor yang menyumbang kepada keberkesanan pelaksanaan pembelajaran digital dalam konteks pendidikan STEM di institusi pengajian tinggi. Kajian ini meneliti hasil penyelidikan terdahulu secara menyeluruh bagi memberi gambaran komprehensif tentang amalan pembelajaran digital di universiti. Dapatan dijangka menjadi rujukan kepada pendidik, pembuat dasar dan penyelidik dalam memperkukuh strategi pelaksanaan pembelajaran digital pada masa hadapan.

Kajian ini menumpukan dua objektif utama: (i) mengenal pasti model dan strategi pembelajaran digital yang digunakan dalam pendidikan STEM di pengajian tinggi dan (ii) menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi keberkesanan pelaksanaannya. Berdasarkan itu, tiga persoalan utama dibincangkan: apakah model, strategi dan faktor yang mempengaruhi keberkesanan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi.

Walaupun banyak kajian dijalankan mengenai pembelajaran digital, masih kurang tinjauan literatur sistematik yang meneliti konteks pendidikan STEM di pengajian tinggi. Pembelajaran STEM menuntut pendekatan pengajaran yang strategik, teknikal dan praktikal. Oleh itu, kajian ini penting untuk mengenal pasti model, strategi dan faktor yang mempengaruhi keberkesanan pembelajaran digital agar pendekatan yang digunakan dapat dioptimumkan mengikut keperluan sebenar bidang STEM. Skop kajian meliputi pelbagai pendekatan seperti pembelajaran berasaskan platform digital, projek digital, simulasi dan permainan digital, serta menilai model teori utama seperti *Technology Acceptance Model (TAM)*, *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)* dan *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)*.

Metodologi Kajian

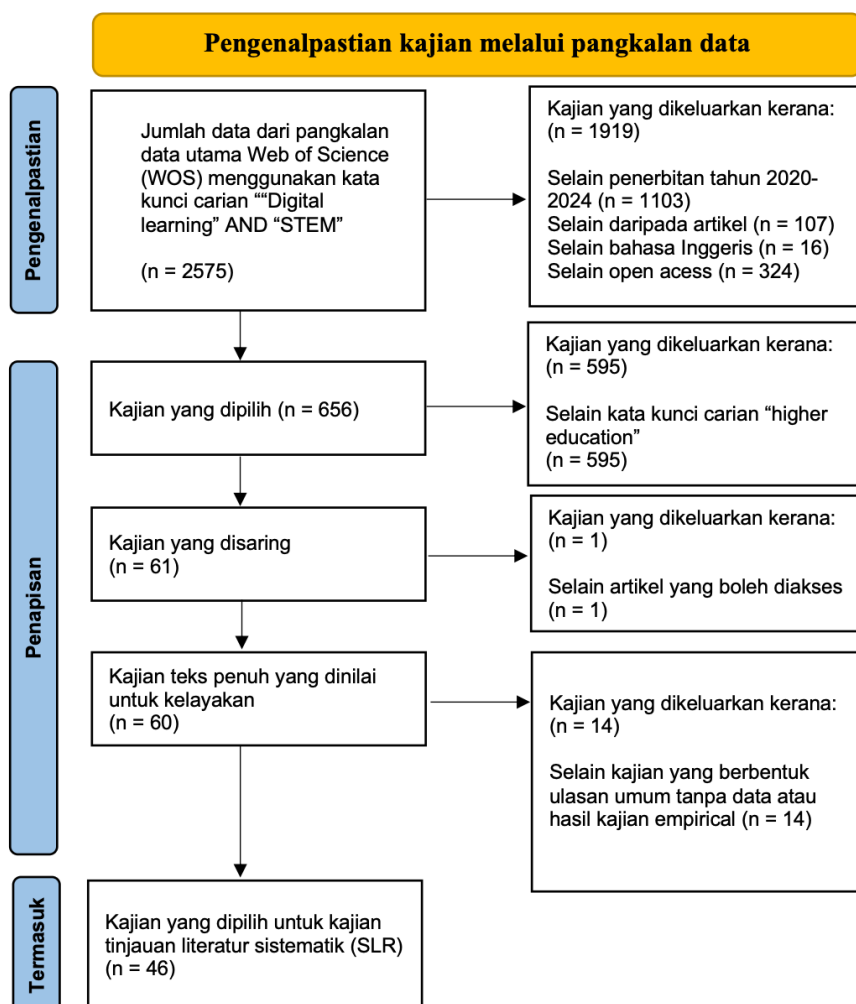
Kajian ini menggunakan kaedah tinjauan literatur sistematik (*SLR*) bagi mengumpul dan menganalisis kajian terdahulu yang berkaitan dengan pelaksanaan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi. Proses penapisan artikel dijalankan mengikut panduan *PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)* bagi memastikan ketelusan, kebolehpercayaan dan kualiti pemilihan artikel.

Strategi carian dilaksanakan menggunakan pangkalan data utama Web of Science (WOS) kerana reputasinya yang tinggi dan kesesuaiannya dengan bidang pendidikan digital. Kata kunci carian yang digunakan ialah "*digital learning*" AND "*STEM*" AND "*higher education*". Artikel yang dipilih mestilah diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2024, bagi memastikan dapatan kajian adalah terkini dan relevan dengan perkembangan semasa. Hanya artikel berbahasa Inggeris dan *open access* dipilih bagi menjamin kemudahan capaian dan semakan rujukan.

Proses Pemilihan Artikel

Kriteria kemasukan meliputi artikel yang membincangkan pembelajaran digital dalam konteks pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi, diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2024, ditulis dalam bahasa Inggeris dan boleh diakses secara terbuka. Kriteria pengecualian pula merangkumi artikel yang tidak berfokus kepada pendidikan STEM atau pengajian tinggi, diterbitkan di luar tempoh masa tersebut, tidak berbahasa Inggeris, tidak boleh diakses secara terbuka serta artikel berbentuk ulasan umum tanpa dapatan empirikal. Proses

penapisan dan pemilihan artikel dijalankan melalui tiga peringkat utama *PRISMA* iaitu pengenalpastian (*identification*), saringan (*screening*) dan kemasukan (*included*). Ini bagi memastikan proses kajian dijalankan secara sistematik dan telus, sekaligus meningkatkan kebolehpercayaan dapatan serta ketepatan analisis (Catherine, 2023; Adobes Martin et al., 2021).



Rajah 1. Carta alir PRISMA dalam proses pencarian artikel

Pengenalpastian

Peringkat bertujuan menentukan skop kajian bagi memudahkan proses pencarian artikel berkaitan. Carian dilaksanakan menggunakan pangkalan data *Web of Science (WOS)* kerana kualitinya yang tinggi dan diiktiraf antarabangsa (Catherine, 2023). Kata kunci carian ialah “*digital learning*” AND “*STEM*”, menggunakan operator boolean AND bagi memperluas hasil pencarian pada tajuk, kata kunci dan abstrak artikel. Sebanyak 2,575 artikel diperoleh yang tertumpu kepada kajian peringkat pengajian tinggi.

Penapisan

Proses penapisan dilaksanakan berdasarkan tahun penerbitan 2020-2024 bagi memastikan kesesuaian dengan konteks semasa pasca pandemik. Sebanyak 1,103 artikel dikeluarkan kerana berada di luar julat masa, manakala 107 artikel dikecualikan kerana bukan artikel akademik. Hanya artikel berbahasa Inggeris dan *open access* dipilih, maka 16 artikel bukan Inggeris dan 324 artikel tidak dapat diakses dikeluarkan. Pada saringan kedua, kata kunci tambahan “*higher education*” digunakan untuk menumpukan kepada konteks pengajian tinggi, menghasilkan 61 artikel untuk semakan lanjut. Saringan manual kemudiannya dilakukan bagi menilai

kerelevanan dengan objektif kajian dan 14 artikel dikeluarkan kerana tidak memenuhi kriteria kemasukan. Akhirnya, 46 artikel dipilih untuk dianalisis secara menyeluruh.

Termasuk

Sebanyak 46 artikel akhir dikenal pasti sebagai sampel kajian bagi kajian tinjauan literatur sistematik (SLR) ini. Artikel-artikel ini digunakan untuk mengenal pasti model dan strategi pembelajaran digital serta faktor yang mempengaruhi keberkesanan pelaksanaannya dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi. Rujuk Jadual 1.

Jadual 1. Senarai artikel kajian

Bil.	Tahun	Penulis	Tajuk	Nama Jurnal
1.	2024	Nonhlanhla Melody Gumbi, Duduzile Sibaya dan Admire Chibisa	Exploring Pre-Service Teachers' Perspectives on the Integration of Digital Game-Based Learning for Sustainable STEM Education	Sustainability
2.	2022	Branda Le, Gwendolyn A. Lawrie dan Jack T.H. Wang	Student Self-perception on Digital Literacy in STEM Blended Learning Environments	Journal of Science Education and Technology
3.	2024	Damira Jantassova, Daniel Churchill, Zhuldyz Tentekbayeva dan Saltanat Aitbayeva	STEM Language Literacy Learning in Engineering Education in Kazakhstan	Education Sciences
4.	2023	Carolyn Flerlage, Andrea Bernholt dan Ilka Parchmann	Motivation to Use Digital Educational Content – Differences Between Science and Other STEM Students in Higher Education	Chemistry Teacher International
5.	2020	Jorge Reyna dan Peter Meier	Co-creation of Knowledge Using Mobile Technologies and Digital Media as Pedagogical Devices in Undergraduate STEM Education	Research in Learning Technology
6.	2022	Michal Elías, Javiera Pérez, Montserrat del Rosario Cassot, Eduardo Andrés Carrasco, Marijana Tomljenovic dan Elisa Ariadne Zúñiga	Development of Digital and Science, Technology, Engineering, and Mathematics Skills in Chemistry Teacher Training	Frontiers in Education
7.	2021	María Consuelo Sáiz-Manzanares, Raúl Marticorena-Sánchez, Natalia Muñoz-Rujas, Sandra Rodríguez-Arribas, María-Camino Escolar-Llamazares, Nuria Alonso-Santander, M. Ángeles Martínez-Martín dan Elvira I. Mercado-Val	Teaching and Learning Styles on Moodle: An Analysis of the Effectiveness of Using STEM and Non-STEM Qualifications from a Gender Perspective	Sustainability
8.	2024	Halyna Hubal, Andrii Siasiev, Volodymyr Sipii, Iryna Syrmamiikh dan Serhii Burtovyi	Digital Technologies in the Process of Teaching STEM Disciplines: Challenges and Prospects	Brazilian Journal of Education, Technology and Society (BRAJETS)

9.	2023	Thomas Lehmann, Patrick Blumschein dan Norbert M. Seel	Accept It or Forget It: Mandatory Digital Learning and Technology Acceptance in Higher Education	Journal of Computers in Education
10.	2024	Joy Ajayi, Emmanuel Adetiba, Ayodele H. Ifijeh, Abdultaofeek Abayomi, John Wejin, Surendra Thakur dan Sibusiso Moyo	LogicHouse-v1: A Digital Game-Based Learning Tool for Enhanced Teaching of Digital Electronics in Higher Education Institutions	Cogent Engineering
11.	2024	Jayaluxmi Naidoo dan Asheena Singh-Pillay	Social Justice Implications of Digital STEM Pedagogy: Exploring a South African Blended Higher Education Context	Education and Information Technologies
12.	2022	Dissakoon Chonsalasin dan Buratin Khampirat	The Impact of Achievement Goal Orientation, Learning Strategies, and Digital Skill on Engineering Skill Self-Efficacy in Thailand	IEEE Access
13.	2022	Ahmad Aljanazrah, George Yerosis, Ghadeer Hamed dan Zuheir N. Khlaif	Digital Transformation in Times of Crisis: Challenges, Attitudes, Opportunities, and Lessons Learned from Students' and Faculty Members' Perspectives	Frontiers in Education
14.	2021	Kari Goin Kono dan Sonja Taylor	Using an Ethos of Care to Bridge the Digital Divide: Exploring Faculty Narratives During a Global Pandemic	Online Learning
15.	2023	Zi Siang See, Susan Ledger, Lizbeth Goodman, Benjamin Matthews, Donovan Jones, Shanna Fealy, Wooi Har Ooi dan Manisha Amin	Playable Experiences Through Technologies: Opportunities and Challenges for Teaching Simulation Learning and Extended Reality Solution Creation	Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice
16.	2020	Iris Howley	Adapting Guided Inquiry Learning Worksheets for Emergency Remote Learning	Information and Learning Sciences
17.	2023	María José Latorre-Medina dan Chaimae Tnibar-Harrus	Digital Security in Educational Training Programs: A Study Based on Future Teachers' Perceptions	Information Technologies and Learning Tools
18.	2022	Vianney Lara-Prieto dan Gilberto E. Flores-Garza	iWeek Experience: The Innovation Challenges of Digital Transformation in Industry	International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)
19.	2023	Jorge Membrillo-Hernández, William J. Cuervo-Bejarano, Luis A. Mejía-Manzano, Patricia Caratozzolo dan Patricia Vázquez-Villegas	Global Shared Learning Classroom Model: A Pedagogical Strategy for Sustainable Competencies Development in Higher Education	International Journal of Engineering Pedagogy (IJEP)

20.	2024	Chiara Elmi	Fostering Students' Inquiry Aptitudes and Collaborative Reasoning in Higher Education Science Courses with Social Annotation Tools and Collaborative Platforms	School Science and Mathematics
21.	2024	Sophie Ward, Teti Dragas, Laura Mazzoli Smith, Kirsty Ross dan Zhijing Miao	Compassionate Inquiry: Digital Storytelling and the Ethics of Care	Teaching in Higher Education
22.	2020	Kseniia Nepeina, Natalia Istomina dan Olga Bykova	The Role of Field Training in STEM Education: Theoretical and Practical Limitations of Scalability	European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education
23.	2020	Isabel S. Fitton, Daniel J. Finnegan dan Michael J. Proulx	Immersive Virtual Environments and Embodied Agents for E-Learning Applications	PeerJ Computer Science
24.	2023	Tom Olney dan Carlton Wood	Using the Theory of Practice Architectures to Establish What It Means to "Do" Learning Design, and the Arrangements That Enable and Constrain Practice	Frontiers in Education
25.	2024	Kate Lister, Elena Riva, Alison Hartley, Philippa Waterhouse, Naomi Moller, Leigh Downes, Tim Coughlan, Agnes Kukulska-Hulme, Elaine McPherson, Ian Macdonald, Sophie Jones-Tinsley, Cath Brown dan Ruth Tudor	Positive Digital Practices: Supporting Positive Learner Identities and Student Mental Wellbeing in Technology-Enhanced Higher Education	Journal of Interactive Media in Education
26.	2023	Larysa Marushko, Andrii Hrechko, Iryna Truskavetska, Oksana Nakonechna dan Tetiana Korshevniuk	Building Readiness of Future Natural Science Teachers for Professional Activities Using STEM Tools	Revista De La Universidad Del Zulia
27.	2024	Luise von Keyserlingk, Fani Lauermann, Qiujie Li, Renzhe Yu, Charlott Rubach, Richard Arum dan Jutta Heckhausen	Students' Study Activities Before and After Exam Deadlines as Predictors of Performance in STEM Courses: A Multi-Source Data Analysis	Learning and Individual Differences
28.	2024	Monica F. Contrino, Maribell Reyes-Millán, Patricia Vázquez-Villegas dan Jorge Membrillo-Hernández	Using an Adaptive Learning Tool to Improve Student Performance and Satisfaction in Online and Face-to-Face Education	Smart Learning Environments
29.	2021	Jin Su Jeong dan David González-Gómez	A STEM Course Analysis During COVID-19: A Comparison Study in Performance and Affective Domain of PSTs Between F2F and F2S Flipped Classroom	Frontiers in Psychology
30.	2024	Yan (Danni) Liang, Shujie Chen, Ruwan Abeysekera,	Examining the Adoption of Technology-Enhanced Learning in Universities and Its Effects	Computers and Education Open

31.	2023	Helen O'Sullivan, Jeff Bray dan Izzy Keevill-Savage Dario Antonelli, Athanasios Christopoulos, Mikko-Jussi Laakso, Valentina Dagienė, Agnė Juškevičienė, Vaida Masiulionytė-Dagienė, Maksymilian Mądział, Dorota Stadnicka dan Chrysostomos Stylios	on Student Performance, Satisfaction, and Motivation A Virtual Reality Laboratory for Blended Learning Education: Design, Implementation and Evaluation	Education Sciences
32.	2021	Hamideh Iraj, Anthea Fudge, Huda Khan, Margaret Faulkner, Abelardo Pardo dan Vitomir Kovanović	Narrowing the Feedback Gap: Examining Student Engagement with Personalized and Actionable Feedback Messages	Journal of Learning Analytics
33.	2022	Dimitrios Loukatos, Maria Kondoyanni, Ioannis-Vasileios Kyrtopoulos dan Konstantinos G. Arvanitis	Enhanced Robots as Tools for Assisting Agricultural Engineering Students' Development	Electronics
34.	2023	Adrienne Burns, Lisa Lobry de Bruyn dan Susan C. Wilson	A Rubric Approach to Assessing Information Literacy Competency in Tertiary Curricula	Journal of University Teaching & Learning Practice
35.	2024	Hesham Allam, Juan Dempere, Faisal Kalota dan David Hua	Enhancing Educational Continuity: Exploring Factors Affecting the Success of Learning Management Systems in Dubai Higher Education	Frontiers in Education
36.	2024	María Helena Romero-Esquinas, María Dolores Hidalgo-Ariza, Juan Manuel Muñoz-González dan Cristian Ariza-Carrasco	Virtual Reality and Universal Learning Design: An Inclusive and Current Form of Understanding Education	Revista de Investigación Educativa
37.	2021	Olga Belikov, Charlene A. VanLeeuwen, George Veletsianos, Nicole Johnson dan Patrice Torcivia Prusko	Professional and Personal Impacts Experienced by Faculty Stemming from the Intersection of the Covid-19 Pandemic and Racial Tensions	Journal of Interactive Media in Education
38.	2024	Rebecca L. Matz, Mark Mills, Holly A. Derry, Benjamin T. Hayward dan Caitlin Hayward	Viewing Tailored Nudges is Correlated with Improved Mastery-Based Assessment Scores	British Journal of Educational Technology
39.	2022	Heather A. Fischer, Kimberley Preston, Nancy Staus dan Martin Storksdieck	Course Assessment for Skill Transfer: A Framework for Evaluating Skill Transfer in Online Courses	Frontiers in Education
40.	2024	Carlos Sierra, Carlos Boente, Abir Zitouni, Roberto Baelo dan Enrique Rosales-Asensio	Resilient Strategies for Internet-Based Education: Investigating Engineering Students in the Canary Islands in the Aftermath of COVID-19	Sustainability
41.	2022	Jürgen Rudolph, Shannon Tan, Joseph Crawford dan Kerry Henderson	Perceived Quality of Online Learning During COVID-19 in Higher Education in Singapore: Perspectives from Students,	Educational Research for Policy and Practice

			Lecturers, and Academic Leaders	
42.	2022	Patricia Caratozzolo, Vianney Lara-Prieto, Samira Hosseini dan Jorge Membrillo-Hernández	The Use of Video Essays and Podcasts to Enhance Creativity and Critical Thinking in Engineering	International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)
43.	2022	Jason R. Harron, Randy Emert, Dominic M. Thomas dan Jeff Campana	Laying the Groundwork for STEAM: Scaling and Supporting 3D Design and Printing in Higher Education	Frontiers in Education
44.	2024	Linda Margarita Medina-Herrera, José Carlos Miranda-Valenzuela, Patricia Vázquez-Villegas, Edgardo Jorge Escalante-Vázquez, Luis Alberto Mejía-Manzano dan Jorge Membrillo-Hernández	Evaluation of the Efficiency of the Sudden Implementation of the Synchronous Online Course: Findings of a Mixed Method Study	Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science
45.	2023	Delfin Ortega-Sánchez	Psychometric Validation of the Scale “Technological Pedagogical Knowledge of Content (TPACK-ES)”	Educación XX1
46.	2024	Jinhee Kim, Seongryeong Yu, Rita Detrick dan Na Li	Exploring Students’ Perspectives on Generative AI-Assisted Academic Writing	Education and Information Technologies

Hasil Kajian

Hasil analisis menunjukkan bahawa kajian berkaitan pelaksanaan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi masih kurang berbanding bidang lain seperti perubahan iklim dan pembangunan lestari. Namun, trend penyelidikan menunjukkan peningkatan ketara selepas pandemik *COVID-19* selaras dengan keperluan pembelajaran digital abad ke-21. Hasil kajian dikategorikan kepada empat tema utama bagi menjawab persoalan kajian yang telah ditetapkan.

Tema 1: Analisis Deskriptif

Analisis Berdasarkan Tahun Penerbitan

Dari segi tahun penerbitan, hanya empat artikel diterbitkan pada tahun 2020 (Reyna & Meier, 2020; Howley, 2020; Nepeina et al., 2020; Fitton et al., 2020), diikuti lima artikel pada tahun 2021 seperti Jeong & González-Gómez (2021) dan Kono & Taylor (2021) yang meneliti keberkesanan pendekatan digital dalam konteks pembelajaran kolaboratif. Tempoh ini menandakan fasa awal adaptasi pendidikan terhadap norma baharu pasca pandemik. Penerbitan meningkat stabil kepada sepuluh artikel pada 2022 dan 2023 (Loukatos et al., 2022; Fischer et al., 2022; See et al., 2023) sebelum melonjak kepada 17 artikel pada 2024 (Gumbi et al., 2024; Jantassova et al., 2024; Hubal et al., 2024). Peningkatan ini membuktikan perhatian penyelidik terhadap keberkesanan dan strategi pedagogi digital semakin meluas.

Analisis Berdasarkan Jurnal Penerbitan

Dapatan menunjukkan kepelbagaian platform penerbitan yang merangkumi bidang pendidikan, teknologi dan sains kelestarian. Berdasarkan jurnal penerbitan, *Frontiers in Education* muncul sebagai jurnal dominan dengan lima artikel, termasuk kajian oleh Fischer et al. (2022) yang meneliti integrasi teknologi dalam pendidikan kejuruteraan. Jurnal *Sustainability* pula menerbitkan tiga artikel, antaranya oleh Gumbi et al.

(2024) yang mengkaji penerimaan pelajar terhadap pembelajaran digital lestari. Selain itu, *Education and Information Technologies*, *Education Sciences* dan *IJIDeM* masing-masing menerbitkan dua artikel, manakala 29 jurnal lain seperti *British Journal of Educational Technology*, *Computers and Education Open* dan *Smart Learning Environments* hanya menerbitkan satu artikel setiap satu.

Kepelbagaian jurnal ini mencerminkan bahawa kajian mengenai pembelajaran digital dalam pendidikan STEM telah berkembang ke pelbagai disiplin seperti pendidikan, teknologi dan psikologi pembelajaran. Secara keseluruhannya, dapatan menunjukkan bahawa pelaksanaan pembelajaran digital memberi impak positif terhadap tiga domain utama iaitu kognitif, afektif dan perilaku; yang memperkukuh kemenjadian pelajar serta kesiapsiagaan mereka menghadapi cabaran pendidikan masa depan.

Analisis Berdasarkan Reka Bentuk Kaedah Kajian

Dari aspek metodologi, analisis reka bentuk kajian kuantitatif merupakan pendekatan paling dominan dengan 18 artikel, diikuti pendekatan kualitatif sebanyak 15 artikel dan *mixed methods* sebanyak 13 artikel. Pendekatan kuantitatif banyak menggunakan soal selidik (Le et al., 2022) dan ujian pra-pasca (Ajayi et al., 2024) bagi menilai penerimaan serta keberkesanan penggunaan teknologi digital. Pendekatan kualitatif pula melibatkan kaedah temu bual (Naidoo & Singh-Pillay, 2024), refleksi dan analisis bahan laporan (See et al., 2023; Burns et al., 2023) bagi memahami pengalaman dan persepsi pelajar serta pensyarah. Sementara itu, pendekatan *mixed methods* menggabungkan soal selidik dengan temu bual, refleksi atau analisis produk (Medina-Herrera et al., 2024; Sierra et al., 2024), bagi memberikan gambaran lebih menyeluruh tentang penerapan pembelajaran digital.

Analisis Berdasarkan Saiz Sampel

Analisis menunjukkan, kebanyakan kajian terdahulu menggunakan bilangan responden antara 101 hingga 500 orang (19 artikel), menunjukkan kecenderungan kepada saiz sampel sederhana yang mewakili pelajar sebagai kumpulan utama (Caratozzolo et al., 2022; Sierra et al., 2024). Sebanyak 20 artikel melibatkan sampel di bawah 100 orang, lazimnya terdiri daripada pensyarah dan pelajar dalam bidang STEM (Kim et al., 2024; Naidoo & Singh-Pillay, 2024), manakala beberapa kajian turut melibatkan pelajar bukan STEM dan pentadbir institusi (Aljanazrah et al., 2022; Rudolph et al., 2022). Tiga kajian melibatkan 501–1000 responden (Flerlage et al., 2023; Liang et al., 2024) dan empat kajian melebihi 1000 responden seperti Reyna & Meier (2020) serta Matz et al. (2024).

Secara keseluruhannya, majoriti kajian menggunakan saiz sampel sederhana dan pendekatan kuantitatif, dengan pelajar sebagai tumpuan utama. Ini menunjukkan fokus penyelidikan semasa ialah menilai pengalaman, penerimaan serta keberkesanan strategi pembelajaran digital dalam konteks pelajar pendidikan STEM di institusi pengajian tinggi.

Tema 2 : Model Pembelajaran Digital

Berdasarkan analisis terhadap 46 artikel, analisis model pembelajaran digital menunjukkan terdapat empat model utama yang digunakan dalam kajian terdahulu berkaitan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi. Model *TPACK* (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) merupakan model paling dominan dengan 14 artikel seperti Howley (2020), Hubal et al. (2024) dan See et al. (2023). Ia diikuti oleh *TAM* (*Technology Acceptance Model*) yang digunakan dalam 10 artikel seperti Gumbi et al. (2024), Le et al. (2022) dan Jantassova et al. (2024). Selain itu, Model *CoI* (*Community of Inquiry*) diaplikasikan dalam empat kajian termasuk Reyna dan Meier (2020) serta Membrillo-Hernández et al. (2023), manakala Model *UTAUT* (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*) digunakan dalam tiga kajian seperti Lehmann et al. (2023) dan Liang et al. (2024). Secara keseluruhan, analisis daripada 31 artikel menunjukkan bahawa *TPACK* mendominasi sebanyak 45.2%, diikuti oleh *TAM* (32.3%), *CoI* (12.9%) dan *UTAUT* (9.7%), manakala 15 artikel lain tidak menyatakan penggunaan model pembelajaran digital secara eksplisit. Dapatan ini membuktikan bahawa *TPACK* dan *TAM* merupakan asas teori paling berpengaruh dalam

penyelidikan pembelajaran digital, mencerminkan tumpuan pengkaji terhadap integrasi teknologi, pedagogi dan penerimaan teknologi dalam konteks 247 pendidikan STEM di pengajian tinggi.

Tema 3 : Strategi Pelaksanaan Pembelajaran Digital

Analisis terhadap 46 artikel mendedahkan enam strategi utama pembelajaran digital digunakan dalam kajian terdahulu. Strategi platform digital merupakan yang paling dominan, digunakan dalam 18 artikel seperti Le et al. (2022) dan Jantassova et al. (2024). Strategi ini melibatkan penggunaan platform seperti *Moodle*, *LMS* dan *Google Workspace* bagi menyokong pengajaran, penilaian serta komunikasi dalam talian. Strategi projek digital pula digunakan dalam tujuh artikel, antaranya Loukatos et al. (2022), yang menekankan penghasilan bahan digital seperti video, model 3D dan projek robotik bagi meningkatkan kemahiran kolaboratif dan kreatif pelajar. Seterusnya, strategi simulasi digital dikenal pasti dalam lima artikel (contohnya Antonelli et al., 2023), menggunakan teknologi realiti maya (VR) dan makmal maya untuk mensimulasikan situasi sebenar pembelajaran. Selain itu, strategi pembelajaran sendiri digital diaplikasikan dalam enam artikel seperti Matz et al. (2024), memberi pelajar kebebasan mengawal kadar pembelajaran melalui *LMS* atau platform AI seperti *ChatGPT*. Dua artikel menggunakan strategi permainan digital (Gumbi et al., 2024) berasaskan gamifikasi bagi meningkatkan motivasi, manakala satu artikel oleh Jeong dan González-Gómez (2021) menampilkan *flipped classroom*, iaitu gabungan pembelajaran pra-kelas dan aktiviti kolaboratif.

Secara keseluruhannya, strategi platform dan projek digital paling kerap digunakan, diikuti simulasi, sendiri, permainan dan *flipped classroom*. Dapatan ini menunjukkan tumpuan pengkaji terhadap strategi yang menggalakkan penglibatan aktif, kolaborasi dan penerapan teknologi secara langsung dalam pembelajaran STEM di peringkat pengajian tinggi.

Tema 4 : Faktor Yang Mempengaruhi Keberkesanan Pembelajaran Digital

Berdasarkan analisis terhadap 46 artikel, tiga domain utama mempengaruhi keberkesanan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi, iaitu domain kognitif, afektif dan perilaku. Dalam domain kognitif, empat tema utama dikenal pasti: peningkatan pemahaman konsep STEM (Gumbi et al., 2024; Ajayi et al., 2024), pembangunan kemahiran berfikir aras tinggi (See et al., 2023; Fischer et al., 2022), literasi digital dan maklumat (Burns et al., 2023; Kim et al., 2024) serta pemahaman kontekstual antara budaya (Naidoo & Singh-Pillay, 2024). Faktor-faktor ini menunjukkan pembelajaran digital berupaya memperkukuh kefahaman, pemikiran kritikal dan kesedaran global pelajar.

Domain afektif pula menekankan elemen emosi dan sikap. Sebanyak 12 artikel menonjolkan peningkatan motivasi dan minat pelajar terhadap pembelajaran digital (Ajayi et al., 2024; Reyna & Meier, 2020), manakala lapan artikel menunjukkan peningkatan keyakinan sendiri dan sembilan menyorot sikap positif terhadap teknologi (Lehmann et al., 2023; Kim et al., 2024). Beberapa kajian turut menekankan nilai empati dan tanggungjawab sosial (Belikov et al., 2021; Ward et al., 2024), menunjukkan bahawa pembelajaran digital turut memupuk kesedaran kemanusiaan. Bagi domain perilaku, pelajar menunjukkan peningkatan penglibatan aktif dalam aktiviti digital seperti forum, simulasi dan kuiz (Reyna & Meier, 2020; Gumbi et al., 2024), disusuli peningkatan kolaborasi dan interaksi sosial (Membrillo-Hernández et al., 2023), pengurusan pembelajaran sendiri (Lehmann et al., 2023) serta keupayaan responsif terhadap teknologi dan reka bentuk pedagogi digital (Iraj et al., 2021; Matz et al., 2024).

Secara keseluruhannya, ketiga-tiga domain ini saling melengkapi dalam menjelaskan keberkesanan pembelajaran digital, di mana domain kognitif memperkukuh pengetahuan, domain afektif memupuk motivasi, dan domain perilaku menggalakkan penglibatan aktif. Keberkesanan pembelajaran digital bukan hanya bergantung pada teknologi, tetapi turut digerakkan oleh interaksi emosi, sosial dan kognitif pelajar secara menyeluruh.

Perbincangan

Model pembelajaran digital merupakan pendekatan berasaskan teknologi yang meningkatkan capaian, fleksibiliti dan keberkesanan pengajaran. Empat model utama dikenal pasti dalam kajian terdahulu, iaitu *TPACK*, *TAM*, *UTAUT* dan *CoI*, yang masing-masing menekankan dimensi berbeza dalam integrasi teknologi pendidikan. Model *TPACK* (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) memberi tumpuan kepada gabungan pengetahuan teknologi, pedagogi dan kandungan bagi membentuk reka bentuk pengajaran yang holistik (Reyna & Meier, 2020; See et al., 2023). Walaupun berkesan membantu pensyarah merancang aktiviti digital, pengukurannya masih bergantung pada refleksi subjektif. Kajian seterusnya disaran menggunakan Model *SAMR* (*Substitution, Augmentation, Modification, Redefinition*) atau rubrik reka bentuk bagi menilai tahap integrasi teknologi secara lebih objektif. Model *TAM* (*Technology Acceptance Model*) pula menilai penerimaan teknologi berdasarkan persepsi manfaat (*Perceived Usefulness*) dan kemudahan penggunaan (*Perceived Ease of Use*) (Gumbi et al., 2024; Le et al., 2022; Wang & A. Hamid, 2025). Ini sesuai untuk kajian kuantitatif berskala besar tetapi tidak menilai impak pedagogi secara langsung, maka penggabungan dengan *TPACK* wajar bagi menghubungkan penerimaan pengguna dengan hasil pembelajaran sebenar. Sementara itu, Model *UTAUT* (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*) menilai kesediaan pengguna berdasarkan ekspektasi prestasi, usaha, pengaruh sosial dan sokongan fasiliti (Lehmann et al., 2023). Walaupun berkesan menilai penerimaan sistem digital, ia kurang menekankan dimensi pedagogi dan disaran digabungkan dengan *TPACK* bagi menilai keberkesanan pembelajaran. Akhirnya, Model *CoI* (*Community of Inquiry*) menilai keberkesanan interaksi pembelajaran dalam talian melalui kehadiran kognitif, sosial dan pengajaran (Reyna & Meier, 2020; Elmi, 2024). Ia sesuai menilai kualiti forum dan *MOOC*, namun wajar diperluas dengan dimensi emosi dan analisis data interaksi bagi memberikan gambaran lebih menyeluruh terhadap keberkesanan pembelajaran digital.

Strategi pembelajaran digital menumpukan penggunaan teknologi bagi meningkatkan penglibatan, motivasi dan capaian pendidikan. Strategi platform digital seperti *Moodle*, *Google Classroom* dan *Zoom* membolehkan interaksi, pentaksiran serta pemantauan dalam talian (Naidoo & Singh-Pillay, 2024; Md Shamsudin et al., 2023). Walaupun mudah digunakan, keberkesanannya bergantung kepada reka bentuk pembelajaran aktif dan kestabilan sambungan internet (Md Shamsudin et al., 2023). Strategi projek digital pula menggalakkan kreativiti dan kolaborasi melalui penghasilan produk seperti video atau model 3D (Loukatos et al., 2022). Cabaran utama ialah beban pemantauan dan kekangan peralatan, maka rubrik serta penilaian rakan sebaya disaran bagi memastikan keberkesanan (Jere & Mpeta, 2024). Strategi simulasi digital menggunakan persekitaran maya (*VR/AR/MR*) untuk meniru situasi sebenar (Antonelli et al., 2023), membantu pemahaman konsep abstrak dan mengurangkan risiko amali, namun kos tinggi serta kekurangan interaksi sosial masih menjadi batasan. Strategi pembelajaran sendiri digital memberi autonomi kepada pelajar belajar mengikut kadar sendiri melalui *AI* atau refleksi sendiri (Matz et al., 2024; Jere & Mpeta, 2024). Pendekatan ini meningkatkan motivasi dan prestasi pelajar berprestasi rendah tetapi memerlukan pemantauan rapi bagi pelajar yang kurang disiplin. Strategi permainan digital (gamifikasi) pula menambah elemen permainan bagi meningkatkan motivasi dan daya saing (Gumbi et al., 2024; Rashid et al., 2024), manakala *flipped classroom* menggabungkan bahan pra-kelas dengan aktiviti kolaboratif semasa sesi tatap muka (Jeong & González-Gómez, 2021). Kedua-dua strategi ini menekankan pembelajaran aktif dan interaksi pelajar, menunjukkan bahawa keberkesanan pembelajaran digital banyak bergantung pada keseimbangan antara teknologi, reka bentuk pedagogi dan autonomi pelajar.

Keberkesanan pembelajaran digital dalam pendidikan STEM dipengaruhi oleh tiga domain utama iaitu kognitif, afektif dan perilaku yang saling melengkapi antara satu sama lain. Domain kognitif melibatkan kefahaman konsep, prestasi akademik dan kemahiran berfikir aras tinggi. Sebahagian besar kajian menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman pelajar melalui strategi simulasi dan permainan digital (Gumbi et al., 2024; Antonelli et al., 2023). Teknologi seperti *VR* dan platform *LMS* interaktif membantu pelajar memvisualisasi konsep abstrak serta mengaplikasikan teori ke dunia sebenar. Kajian masa depan disaran menggabungkan penilaian formatif dan rubrik pemikiran kritis bagi menilai keberkesanan pembelajaran secara lebih objektif. Domain afektif pula merangkumi emosi, motivasi dan keyakinan diri

pelajar terhadap teknologi. Hampir semua artikel melaporkan peningkatan minat dan keseronokan apabila elemen interaktif dimasukkan (Ajayi et al., 2024; See et al., 2023; Jere & Mpetta, 2024). Sokongan teknikal dan reka bentuk mesra pengguna turut meningkatkan keyakinan serta kesediaan pelajar terhadap pembelajaran digital (Le et al., 2022). Penilaian masa depan wajar menggunakan alat ukur psikometrik afektif bagi populasi pelajar pelbagai latar sosioekonomi. Domain perilaku merujuk kepada penglibatan aktif dan interaksi sosial dalam persekitaran digital (Arbine & Abdul Hamid, 2024). Strategi gamifikasi dan simulasi terbukti meningkatkan kolaborasi dan komunikasi pelajar (Ajayi et al., 2024; Reyna & Meier, 2020).

Kajian lanjutan dicadangkan membangunkan indikator perilaku seperti log aktiviti dan kadar interaksi untuk menilai hubungan antara penglibatan pelajar dan hasil pembelajaran. Secara keseluruhan, keberkesanan pembelajaran digital bergantung pada keseimbangan antara reka bentuk teknologi, strategi pedagogi dan faktor manusia (Arbine & Abdul Hamid, 2024). Model *TPACK* dan *TAM* paling kerap digunakan, manakala strategi simulasi dan projek digital terbukti meningkatkan pembelajaran aktif dan kemahiran abad ke-21. Kajian masa depan disaran meneroka model hibrid seperti *TPACK-UTAUT* serta menggunakan metrik psikometrik dan data log bagi menilai impak jangka panjang terhadap prestasi pelajar dan keberkesanan pedagogi digital (Wang & A. Hamid, 2025).

Kesimpulan

Secara keseluruhannya, kajian tinjauan literatur sistematik (*SLR*) ini mengesahkan bahawa integrasi teknologi yang strategik merupakan tunjang kepada kelestarian pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi. Dapatan kajian ini memberikan sokongan langsung kepada Matlamat Pembangunan Mampan ke-4 iaitu Pendidikan Berkualiti, khususnya dalam memastikan akses saksama kepada pendidikan teknikal dan tinggi yang bermutu melalui pemeraksanaan ekosistem digital.

Kajian ini membuktikan bahawa pembelajaran digital memberi kesan positif terhadap keberkesanan pengajaran dan pembelajaran dalam pendidikan STEM di peringkat pengajian tinggi. Penggunaan model seperti *TPACK*, *TAM*, *UTAUT* dan *CoI* memperkukuh integrasi teknologi, pedagogi serta interaksi sosial, sekali gus meningkatkan penerimaan dan penggunaan teknologi dalam kalangan pendidik dan pelajar. Dari segi strategi, pendekatan seperti platform digital, projek digital dan simulasi terbukti meningkatkan penglibatan, motivasi dan pemahaman pelajar terhadap konsep kompleks, manakala strategi gamifikasi, pembelajaran sendiri dan *flipped classroom* menyokong pembelajaran aktif serta fleksibel.

Dapatan kajian ini turut memberikan implikasi signifikan terhadap Dasar Pendidikan Digital (DPD) Malaysia 2023. Bagi merealisasikan matlamat DPD dalam melahirkan generasi fasih digital, institusi pengajian tinggi perlu menganjak fokus daripada sekadar penyediaan infrastruktur fizikal kepada pembangunan profesionalisme pendidik yang berteraskan kompetensi pedagogi digital. Implikasi praktikal ini menekankan keperluan terhadap sokongan institusi yang berterusan dan reka bentuk instruksional yang berpusatkan pelajar.

Walau bagaimanapun, kejayaan pembelajaran digital bergantung kepada reka bentuk pedagogi yang berkesan, sokongan institusi dan kesediaan pelajar. Keberkesanan pembelajaran digital turut didorong oleh tiga domain utama iaitu kognitif, afektif dan perilaku yang saling melengkapi dalam membentuk pengalaman pembelajaran menyeluruh. Kajian ini memberi implikasi praktikal kepada pendidik dan institusi dalam merancang strategi pengajaran berasaskan teknologi yang lebih interaktif dan berpusatkan pelajar. Bagi penyelidikan masa depan, disarankan agar kajian diperluas kepada populasi pelajar pelbagai latar sosio-ekonomi serta mengintegrasikan model hibrid seperti *TPACK-UTAUT* bersama alat ukur psikometrik dan data analitik pembelajaran bagi menilai impak jangka panjang terhadap prestasi dan motivasi pelajar.

Penghargaan: Terima kasih kepada semua yang telah memberi sumbangan dalam penerbitan artikel ini.

Konflik Kepentingan: Penulis mengaku tiada sebarang konflik kepentingan dalam kajian ini.

Rujukan

- Adobes Martin, M., Santamans Faustino, S., Llario Almiñana, I., Aiuto, R., Rotundo, R., & Garcovich, D. (2021). There is still room for improvement in the completeness of abstract reporting according to the PRISMA-A checklist: A cross-sectional study on systematic reviews in periodontology. *BMC Medical Research Methodology*, 21(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s12874-021-01223-y>
- Ajayi, J., Adetiba, E., Ifijeh, A. H., Abayomi, A., Wejin, J., Thakur, S., & Moyo, S. (2024). LogicHouse-v1: A digital game-based learning tool for enhanced teaching of digital electronics in higher education institutions. *Cogent Engineering*, 11(1), 2322814. <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2322814>
- Aljanazrah, A., Yerosus, G., Hamed, G., & Khlaif, Z. N. (2022). Digital transformation in times of crisis: Challenges, attitudes, opportunities and lessons learned from students' and faculty members' perspectives. *Frontiers in Education*, 7, 1047035. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1047035>
- Allam, H., Dempere, J., Kalota, F., & Hua, D. (2024). Enhancing educational continuity: Exploring factors affecting the success of learning management systems in Dubai higher education. *Frontiers in Education*, 9, 1382021. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1382021>
- Antonelli, D., Christopoulos, A., Laakso, M.-J., Dagienė, V., Juškevičienė, A., Masiulionytė-Dagienė, V., Mądziel, M., Stadnicka, D., & Stylios, C. (2023). A virtual reality laboratory for blended learning education: Design, implementation and evaluation. *Education Sciences*, 13(5), 528. <https://doi.org/10.3390/educsci13050528>
- Arbine, S., & Abdul Hamid, M. S. (2024). Developing and validating a digital literacy assessment: Bridging the digital divide among adolescents in Sabah, Malaysia. *e-Bangi: Journal of Social Sciences & Humanities*, 21(4), 187–202. <https://doi.org/10.17576/ebangi.2024.2104.16>
- Belikov, O., VanLeeuwen, C. A., Veletsianos, G., Johnson, N., & Prusko, P. T. (2021). Professional and personal impacts experienced by faculty stemming from the intersection of the COVID-19 pandemic and racial tensions. *Journal of Interactive Media in Education*, 2021(1), 8. <https://doi.org/10.5334/jime.647>
- Burns, A., Lobry de Bruyn, L., & Wilson, S. C. (2023). A rubric approach to assessing information literacy competency in tertiary curricula. *Journal of University Teaching & Learning Practice*, 20(1). <https://doi.org/10.53761/1.20.01.19>
- Caratozzolo, P., Lara-Prieto, V., Hosseini, S., & Membrillo-Hernández, J. (2022). The use of video essays and podcasts to enhance creativity and critical thinking in engineering. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 16, 1231–1251. <https://doi.org/10.1007/s12008-022-00952-8>
- Catherine, Z. N. (2023). *How to create an effective PRISMA flow diagram*. American Journal Experts. <https://www.aje.com/arc/how-to-create-prisma-flow-diagram/>
- Chonsalasin, D., & Khampirat, B. (2022). The impact of achievement goal orientation, learning strategies, and digital skill on engineering skill self-efficacy in Thailand. *IEEE Access*, 10, 11858–11870. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3146128>
- Contrino, M. F., Reyes-Millán, M., Vázquez-Villegas, P., & Membrillo-Hernández, J. (2024). Using an adaptive learning tool to improve student performance and satisfaction in online and face-to-face education for a more personalized approach. *Smart Learning Environments*, 11, 6. <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00292-y>
- Elías, M., Pérez, J., Cassot, M. R., Carrasco, E. A., Tomljenovic, M., & Zúñiga, E. A. (2022). Development of digital and science, technology, engineering, and mathematics skills in chemistry teacher training. *Frontiers in Education*, 7, 932609. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.932609>
- Elman, J., Yusof, A., Sarudin, A., & Ismail, M. S. (2023). Penggunaan bahan bantu mengajar digital dalam pembelajaran secara maya semasa pandemik. *Journal of Issues in Education*, 46, 12–24. <https://ejournal.um.edu.my/index.php/JIIE/article/view/50222>
- Elmi, C. (2024). Fostering students' inquiry aptitudes and collaborative reasoning in higher education science courses with social annotation tools and collaborative platforms. *School Science and Mathematics*, 1–10. <https://doi.org/10.1111/ssm.18316>

- Fischer, H. A., Preston, K., Staus, N., & Storksdieck, M. (2022). Course assessment for skill transfer: A framework for evaluating skill transfer in online courses. *Frontiers in Education*, 7, 960430. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.960430>
- Fitton, I. S., Finnegan, D. J., & Proulx, M. J. (2020). Immersive virtual environments and embodied agents for e-learning applications. *PeerJ Computer Science*, 6, e315. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.315>
- Flerlage, C., Bernholt, A., & Parchmann, I. (2023). Motivation to use digital educational content: Differences between science and other STEM students in higher education. *Chemistry Teacher International*, 5(2), 213–228. <https://doi.org/10.1515/cti-2022-0035>
- Goin Kono, K., & Taylor, S. (2021). Using an ethos of care to bridge the digital divide: Exploring faculty narratives during a global pandemic. *Online Learning*, 25(1), 151–165. <https://doi.org/10.24059/olj.v25i1.2484>
- Gumbi, N. M., Sibaya, D., & Chibisa, A. (2024). Exploring pre-service teachers' perspectives on the integration of digital game-based learning for sustainable STEM education. *Sustainability*, 16(3), 1314. <https://doi.org/10.3390/su16031314>
- Harron, J. R., Emert, R., Thomas, D. M., & Campana, J. (2022). Laying the groundwork for STEAM: Scaling and supporting 3D design and printing in higher education. *Frontiers in Education*, 6, 763362. <https://doi.org/10.3389/educ.2021.763362>
- Howley, I. (2020). Adapting guided inquiry learning worksheets for emergency remote learning. *Information and Learning Sciences*, 121(7/8), 549–557. <https://doi.org/10.1108/ILS-04-2020-0086>
- Hubal, H., Siasiev, A., Sipii, V., Syrmamiikh, I., & Burtovyi, S. (2024). Digital technologies in the process of teaching STEM disciplines: Challenges and prospects. *Cadernos de Educação Tecnologia e Sociedade*, 17(1), 445–458. <https://doi.org/10.14571/brajets.v17.n1.445-458>
- Iraj, H., Fudge, A., Khan, H., Faulkner, M., Pardo, A., & Kovanović, V. (2021). Narrowing the feedback gap: Examining student engagement with personalized and actionable feedback messages. *Journal of Learning Analytics*, 8(3), 101–116. <https://doi.org/10.18608/jla.2021.7184>
- Jantassova, D., Churchill, D., Tentekbayeva, Z., & Aitbayeva, S. (2024). STEM language literacy learning in engineering education in Kazakhstan. *Education Sciences*, 14(12), 1352. <https://doi.org/10.3390/educsci14121352>
- Jeong, J. S., & González-Gómez, D. (2021). A STEM course analysis during COVID-19: A comparison study in performance and affective domain of PSTs between F2F and F2S flipped classroom. *Frontiers in Psychology*, 12, 669855. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.669855>
- Jere, S., & Mpeta, M. (2024). Evaluation of pre-service teachers' digital competence in Limpopo Province, South Africa. *e-Bangi: Journal of Social Sciences & Humanities*, 21(1), 314–325. <https://doi.org/10.17576/ebangi.2024.2101.27>
- Kim, J., Yu, S., Detrick, R., & Li, N. (2024). Exploring students' perspectives on generative AI-assisted academic writing. *Education and Information Technologies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12878-7>
- Lara-Prieto, V., & Flores-Garza, G. E. (2022). iWeek experience: The innovation challenges of digital transformation in industry. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 16, 81–98. <https://doi.org/10.1007/s12008-021-00810-z>
- Latorre-Medina, M. J., & Tnibar-Harrus, C. (2023). Digital security in educational training programs: A study based on future teachers' perceptions. *Information Technologies and Learning Tools*, 95(3), 102–111. <https://doi.org/10.33407/itlt.v95i3.5204>
- Le, B., Lawrie, G. A., & Wang, J. T. H. (2022). Student self-perception on digital literacy in STEM blended learning environments. *Journal of Science Education and Technology*, 31, 303–321. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09956-1>
- Lehmann, T., Blumschein, P., & Seel, N. M. (2023). Accept it or forget it: Mandatory digital learning and technology acceptance in higher education. *Journal of Computers in Education*, 10(4), 797–817. <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00244-w>

- Lestiwati, L., Iriantara, Y., Yoseptri, R., Afghan, A. N., Kuntari, A. K., & Nurbaini, A. (2025). Strategi penggunaan model pembelajaran digital untuk meningkatkan kompetensi guru di SDN Dewi Sartika. *Edusaintek: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, 12(2), 732–745. <https://doi.org/10.47668/edusaintek.v12i2.1661>
- Liang, Y., Chen, S., Abeysekera, R., O’Sullivan, H., Bray, J., & Keevill-Savage, I. (2024). Examining the adoption of technology-enhanced learning in universities and its effects on student performance, satisfaction, and motivation. *Computers and Education Open*, 7, 100223. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100223>
- Lister, K., Riva, E., Hartley, A., Waterhouse, P., Moller, N., Downes, L., Coughlan, T., Kukulska-Hulme, A., McPherson, E., Macdonald, I., Jones-Tinsley, S., Brown, C., & Tudor, R. (2024). Positive digital practices: Supporting positive learner identities and student mental wellbeing in technology-enhanced higher education. *Journal of Interactive Media in Education*, 2024(1), 5. <https://doi.org/10.5334/jime.831>
- Loukatos, D., Kondoyanni, M., Kyrtopoulos, I.-V., & Arvanitis, K. G. (2022). Enhanced robots as tools for assisting agricultural engineering students’ development. *Electronics*, 11(5), 755. <https://doi.org/10.3390/electronics11050755>
- Marushko, L., Hrechko, A., Truskavetska, I., Nakonechna, O., & Korshevniuk, T. (2023). Building readiness of future natural science teachers for professional activities using STEM tools. *Revista de la Universidad del Zulia*, 14(41), 29–57. <https://doi.org/10.46925/rdluz.41.03>
- Matz, R. L., Mills, M., Derry, H. A., Hayward, B. T., & Hayward, C. (2024). Viewing tailored nudges is correlated with improved mastery-based assessment scores. *British Journal of Educational Technology*, 55(5), 1841–1859. <https://doi.org/10.1111/bjet.13451>
- Mazidah Mat Rejab. (2022). *Masa depan realiti lanjutan (XR) dalam pembelajaran di Malaysia*. UTHM News. <https://news.uthm.edu.my/ms/2022/11/masa-depan-realiti-lanjutan-xr-dalam-pembelajaran-di-malaysia/>
- Md Shamsudin, N., Ladisma, M., Anuar, R., Cheong, T. H., & Kamal, A. A. (2023). Closing the divide: Insights into cloud-based learning for students in rural areas. *e-Bangi: Journal of Social Sciences & Humanities*, 20(4), 432–440. <https://doi.org/10.17576/ebangi.2023.2004.38>
- Medina-Herrera, L. M., Miranda-Valenzuela, J. C., Vázquez-Villegas, P., Escalante-Vázquez, E. J., Mejía-Manzano, L. A., & Membrillo-Hernández, J. (2024). Evaluation of the efficiency of the sudden implementation of the synchronous online course: Findings of a mixed method study. *Journal on Efficiency and Responsibility in Education and Science*, 17(2), 118–129. <https://doi.org/10.7160/eriesj.2024.170202>
- Membrillo-Hernández, J., Cuervo-Bejarano, W. J., Mejía-Manzano, L. A., Caratozzolo, P., & Vázquez-Villegas, P. (2023). Global shared learning classroom model: A pedagogical strategy for sustainable competencies development in higher education. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 13(1), 20–33. <https://doi.org/10.3991/ijep.v13i1.36181>
- Naidoo, J., & Singh-Pillay, A. (2024). Social justice implications of digital science, technology, engineering and mathematics pedagogy: Exploring a South African blended higher education context. *Education and Information Technologies*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12813-w>
- Nepeina, K., Istomina, N., & Bykova, O. (2020). The role of field training in STEM education: Theoretical and practical limitations of scalability. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 10(1), 511–529. <https://doi.org/10.3390/ejihpe10010037>
- Olney, T., & Wood, C. (2023). Using the theory of practice architectures to establish what it means to “do” learning design, and the arrangements that enable and constrain practice. *Frontiers in Education*, 8, 1291032. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1291032>
- Ortega-Sánchez, D. (2023). Psychometric validation of the scale “Technological Pedagogical Knowledge of Content TPACK-ES” and assessment of self-efficacy perceived by prospective teachers. *Educación XX1*, 26(2), 209–244. <https://doi.org/10.5944/educxx1.34484>

- 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., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rashid, N., Mod Asri, N., Abdullah Al-Hadi, A., & Chamhuri, N. (2024). Persepsi pelajar terhadap pelaksanaan gamifikasi di luar kampus. *e-Bangi: Journal of Social Sciences & Humanities*, 21(1), 112–122. <https://doi.org/10.17576/ebangi.2024.2101.10>
- Reyna, J., & Meier, P. (2020). Co-creation of knowledge using mobile technologies and digital media as pedagogical devices in undergraduate STEM education. *Research in Learning Technology*, 28, 2356. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2356>
- Romero-Esquinas, M. H., Hidalgo-Ariza, M. D., Muñoz-González, J. M., & Ariza-Carrasco, C. (2024). Virtual reality and universal learning design: An inclusive and current form of understanding education. *Revista de Investigación Educativa*, 42(2). <https://doi.org/10.6018/rie.564881>
- Rudolph, J., Tan, S., Crawford, J., & Butler-Henderson, K. (2022). Perceived quality of online learning during COVID-19 in higher education in Singapore: Perspectives from students, lecturers, and academic leaders. *Educational Research for Policy and Practice*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10671-022-09325-0>
- Sáiz-Manzanares, M. C., Marticorena-Sánchez, R., Muñoz-Rujas, N., Rodríguez-Arribas, S., Escolar-Llamazares, M.-C., Alonso-Santander, N., Martínez-Martín, M. Á., & Mercado-Val, E. I. (2021). Teaching and learning styles on Moodle: An analysis of the effectiveness of using STEM and non-STEM qualifications from a gender perspective. *Sustainability*, 13(3), 1166. <https://doi.org/10.3390/su13031166>
- See, Z. S., Ledger, S., Goodman, L. L., Matthews, B., Jones, D., Fealy, S., Ooi, W. H., & Amin, M. (2023). Playable experiences through technologies: Opportunities and challenges for teaching simulation learning and extended reality solution creation. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 22, 67–90. <https://doi.org/10.28945/5121>
- Sierra, C., Boente, C., Zitouni, A., Baelo, R., & Rosales-Asensio, E. (2024). Resilient strategies for internet-based education: Investigating engineering students in the Canary Islands in the aftermath of COVID-19. *Sustainability*, 16(4), 1574. <https://doi.org/10.3390/su16041574>
- von Keyserlingk, L., Lauermann, F., Li, Q., Yu, R., Rubach, C., Arum, R., & Heckhausen, J. (2024). Students' study activities before and after exam deadlines as predictors of performance in STEM courses: A multi-source data analysis. *Learning and Individual Differences*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102598>
- Wang, Q., & A. Hamid, A. H. (2025). The impact of learning analytics technology acceptance on teaching decision-making among secondary school teachers in Chongqing, China. *e-Bangi: Journal of Social Sciences & Humanities*, 22(2), 456–469. <https://doi.org/10.17576/ebangi.2025.2202.37>
- Ward, S., Dragas, T., Mazzoli Smith, L., Ross, K., & Miao, Z. (2024). Compassionate inquiry: Digital storytelling and the ethics of care. *Teaching in Higher Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/13562517.2024.2394600>
- Yusriza Mohamad Yusof, Afida Ayob, & Mohamad Hanif Md Saad. (2021). Penggunaan teknologi kejuruteraan dalam pendidikan STEM bersepadu. *Jurnal Kejuruteraan*, 33(1), 1–11. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33\(1\)-01](https://doi.org/10.17576/jkukm-2020-33(1)-01)