
CABARAN PENERIMAAN *CLOUD-BASED BIM* DALAM PROJEK PEMBINAAN BERSKALA BESAR DI MALAYSIA: ULASAN LITERATUR SISTEMATIK

Nooriati Taib^{1*}, Fahad Ahmed Bughio^{1,2}

¹*Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan, Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang, Malaysia.*

²*Department of Architecture and Planning, Dawood University of Engineering and Technology, Karachi, Pakistan.*

*Corresponding author: Nooriati Taib, nooriati@usm.my

Abstrak

Pelaksanaan *Cloud-Based Building Information Modelling* (BIM) mempunyai potensi untuk mengubah cara kolaborasi, koordinasi, dan interoperabiliti data dalam projek pembinaan berskala besar; walau bagaimanapun, inovasi ini masih belum meluas dalam persekitaran pembinaan di Malaysia disebabkan oleh pelbagai halangan yang berterusan. Kertas ini membentangkan ulasan literatur sistematik (SLR) ke atas 52 dokumen yang telah ditinjau oleh rakan sebaya yang diterbitkan antara 2012 hingga 2024 untuk mengenal pasti dan mensintesis halangan utama terhadap *Cloud-Based BIM* di Malaysia. Strategi PRISMA yang teliti telah digunakan untuk menguruskan pemilihan artikel dan sintesis tema. Halangan-halangan tersebut dikelompokkan kepada lima tema: halangan teknologikal, halangan organisasi, halangan peraturan, halangan kewangan, dan halangan budaya. Penemuan kajian mendapati kekurangan penyeragaman, kekurangan kemahiran teknikal, privasi data, kos pelaksanaan, dan ketidakmampuan peserta untuk menerima perubahan, sebagai halangan utama yang dilaporkan secara konsisten. Kertas ini membantu memberikan perspektif empirikal terhadap masalah kompleks yang berkaitan dengan pelaksanaan penuh *Cloud-Based BIM* di Malaysia, namun turut memberikan sumbangan tematik yang berguna untuk pertimbangan dalam penyelidikan, dasar, dan strategi transformasi digital dalam industri pembinaan Malaysia pada masa depan.

Kata Kunci: *Cloud-Based Building Information Modelling* (BIM), Koordinasi, Transformasi digital, projek pembinaan berskala besar, Malaysia, halangan penerapan

Barriers to Cloud-Based Building Information Modelling (BIM) Adoption in Large-Scale Construction Projects in Malaysia: A Systematic Literature Review

Abstract

The implementation of Cloud-Based Building Information Modelling (BIM) has the potential to transform collaboration, coordination, and data interoperability for large-scale construction projects; however, this innovation is not yet commonplace in the Malaysian construction environment due to a variety of ongoing barriers. This paper presents a systematic literature review (SLR) of 52 peer-reviewed documents published between 2012 and 2024 to identify and synthesise the major barriers to Cloud-Based BIM in Malaysia. A thorough PRISMA strategy was applied to manage article selection and thematic synthesis. The barriers were grouped into five themes: technological barriers, organisational barriers, regulatory barriers, financial barriers, and cultural barriers. The findings discovered a lack of standardisation, a lack of technical skills, data privacy, implementation costs, and the inability for participants to embrace change, as the underlying barriers reported most regularly. This paper assists in providing an empirical perspective on the complex problems associated with fully implementation a cloud-based BIM in Malaysia but also provides a useful thematic contribution for consideration in future research, policy and strategy of digital transformation for the Malaysian construction industry.

Keywords: Cloud-Based Building Information Modelling (BIM), Coordination, Digital transformation, large-scale Construction, Malaysia, adoption barriers.

Article history:

Submitted: 27/10/2025; Revised: 18/11/2025; Accepted: 20/12/2025; Online: 24/12/2025

1. PENDAHULUAN

Sektor Arkitek, Kejuruteraan, dan Pembinaan (AEC) sedang berada dalam revolusi digital yang dipimpin oleh teknologi-teknologi yang memudahkan kolaborasi yang lebih baik, pertukaran maklumat, dan pengurusan kitaran hayat projek (Hosamo et al., 2022; Izbash & Babayev, 2024; Manzoor et al., 2021). Salah satu teknologi utama dalam bidang ini adalah *Cloud-Based Building Information Modelling* (BIM), yang terbukti sebagai inovasi yang memberi impak besar dalam pengurusan projek pembinaan berskala besar melalui penyediaan persekitaran data yang terpusat, kolaborasi masa nyata, dan interoperabiliti antara pihak berkepentingan yang berbeza (Begić & Galić, 2021; Berlato et al., 2025a; Petri et al., 2017). Di negara-negara maju, *Cloud-Based BIM* secara beransur-ansur diintegrasikan dalam proses penghantaran projek bagi memperbaiki koordinasi, mengurangkan kerja semula, dan mencapai peningkatan produktiviti (Onungwa et al., 2021).

Walaupun kelebihan *Cloud-Based BIM* telah terbukti, penggunaannya di Malaysia masih terhad, terutamanya dalam projek pembinaan yang kompleks dan berskala besar (Farouk et al., 2023). Hal ini disebabkan oleh gabungan faktor teknologi, organisasi, peraturan, kewangan, dan budaya yang secara berterusan menghalang penerimaannya dalam amalan pembinaan arus perdana (Gambatese & Hallowell, 2011). Pelan nasional dan laporan industri seperti Program Transformasi Industri Pembinaan (CITP) dan Peta Jalan BIM 2021–2025 telah menekankan kepentingan transformasi digital, namun jurang masih wujud antara niat strategik dan penerimaan sebenar dalam industri (Siganul & Puspitasari, 2025).

Walaupun literatur sedia ada telah menyelidik isu-isu penerimaan BIM secara umum, tiada sintesis holistik mengenai halangan-halangan terhadap *Cloud-Based BIM* dalam persekitaran Malaysia, khususnya dalam projek berskala besar di mana kompleksiti koordinasi lebih tinggi. Bukti-bukti yang terpisah daripada kajian-kajian terdahulu menyekat pihak berkepentingan daripada membangunkan pemahaman yang mendalam tentang punca-punca yang mendasari halangan tersebut, keutamaan mereka, serta pembangunan intervensi strategik yang bersesuaian.

2. METODOLOGI PENYELIDIKAN

Kajian ini menggunakan kaedah Ulasan Literatur Sistematis (SLR) untuk mengenal pasti, mengkategorikan, dan mensintesis halangan-halangan dalam menggunakan *Cloud-Based BIM* dalam projek pembinaan mega di Malaysia. Kaedah ini mengikuti protokol Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) bagi memastikan ketelusan, ketelitian, dan kebolehreproduksi (Rethlefsen & Page, 2021). Proses ini melibatkan empat peringkat: (1) perancangan penyelidikan, (2) pencarian dan penapisan literatur, (3) pengekstrakan data dan pengkodan, dan (4) sintesis tematik dan analisis (X. Yang et al., 2025).

2.1 Protokol Ulasan dan Soalan Penyelidikan

Protokol ulasan telah ditetapkan mengikut rangka kerja PICOC (Populasi, Intervensi, Perbandingan, Hasil, dan Konteks) untuk menentukan skop dan had kajian ini (Pollock & Berge, 2018). Berdasarkan tujuan penyelidikan, soalan-soalan ulasan berikut (RQs) digunakan untuk melaksanakan SLR.

- RQ1: Apakah halangan utama dalam aspek teknologi, organisasi, dan peraturan yang menghalang penerimaan *Cloud-Based BIM* dalam projek pembinaan mega di Malaysia?
- RQ2: Bagaimanakah halangan-halangan ini dikategorikan dan ditafsirkan mengikut perspektif pelbagai pihak berkepentingan?
- RQ3: Apakah jurang penyelidikan yang wujud dalam literatur semasa mengenai pelaksanaan *Cloud-Based BIM* di Malaysia?

2.2 Kriteria Pemasukan dan Pengecualian

Bagi memastikan ketelitian, relevansi, dan integriti metodologi ulasan literatur sistematik ini, kriteria pemasukan dan pengecualian yang khusus telah dibangunkan dan diterapkan secara konsisten sepanjang proses penapisan. Kajian-kajian dimasukkan jika (i) diterbitkan dalam jurnal yang disemak oleh rakan sebaya atau prosiding persidangan yang berwibawa antara 2012 hingga 2024, (ii) memfokuskan kepada *Cloud-Based BIM* dalam pembinaan, terutamanya yang membincangkan penerimaan, halangan, atau cabaran pelaksanaannya, dan (iii) tertumpu pada projek pembinaan

berskala besar atau usaha pendigitalan tahap industri, khususnya dalam konteks Malaysia atau ekonomi membangun yang serupa. Kajian kualitatif, kuantitatif, dan kaedah campuran juga dipertimbangkan.

Sebaliknya, kajian-kajian dikecualikan jika (i) hanya membincangkan BIM konvensional atau BIM berasaskan desktop tanpa *cloud integration*, (ii) kekurangan penyelidikan empirikal atau perbincangan teor, atau (iii) merupakan artikel bukan akademik, seperti tesis, editorial, bab buku, atau kertas kerja yang tidak mempunyai akses teks penuh. Proses penapisan juga direka untuk mengecualikan entri duplikat dan laporan teknikal yang usang yang tidak disemak oleh rakan sebaya. Kriteria ini membantu memurnikan dataset akhir kepada 52 artikel yang berkualiti tinggi dan relevan secara tematik. Ringkasan kriteria pemasukan dan pengecualian yang diterapkan disediakan dalam Jadual 1.

Table 1: Kriteria Pemasukan dan Pengecualian

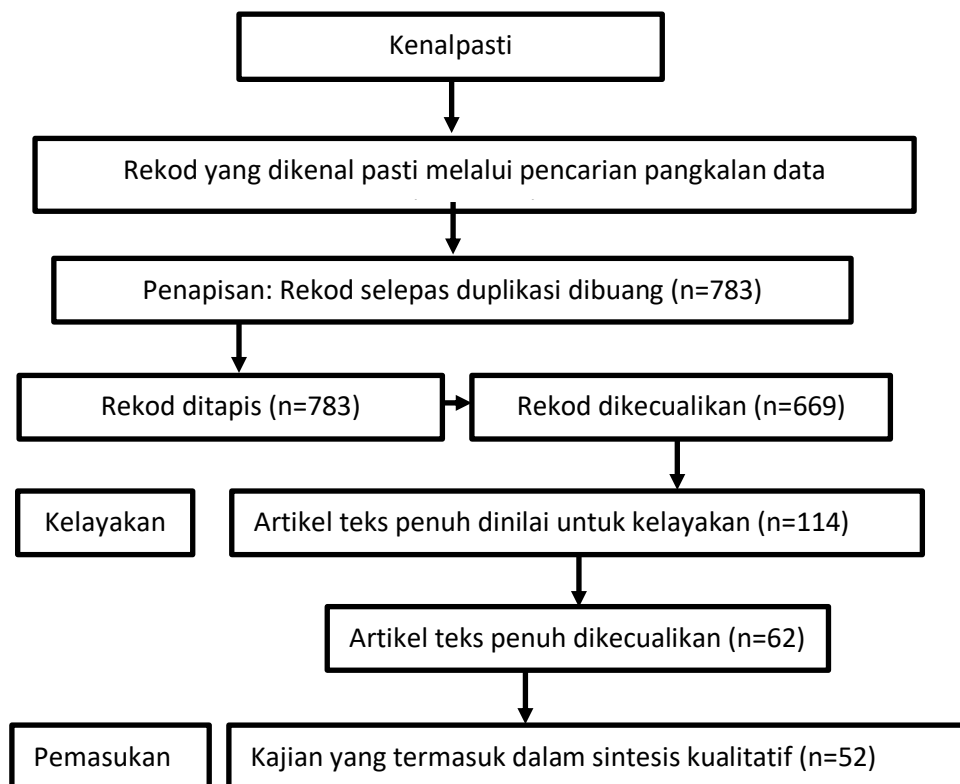
Kriteria	Pemasukan	Pengecualian
Jenis Penerbitan	Artikel jurnal yang disemak rakan sebaya dan kertas persidangan yang berwibawa	Editorial, tesis, pra-cetak, buku, nota teknikal, dan sumber yang tidak disemak oleh rakan sebaya
Tahun Penerbitan	2012–2024	Diterbitkan sebelum 2012 atau tidak dalam julat tahun yang dipilih
Bahasa	Bahasa Inggeris dan Melayu	Penerbitan dalam bahasa selain Inggeris dan Melayu
Fokus Geografi	Kajian global dengan penekanan pada Malaysia atau Asia Tenggara	Kajian yang tidak berkaitan dengan konteks Malaysia atau negara membangun yang serupa
Fokus Kandungan	Kajian yang membincangkan penerimaan, halangan, cabaran, atau pelaksanaan Cloud based-BIM	Kajian yang tidak berkaitan dengan BIM, atau yang hanya memfokuskan kepada alat BIM tradisional (non-cloud)
Jenis Kajian	Kualitatif, kuantitatif, atau kaedah campuran dengan asas empirikal atau teori	Kajian yang hanya bersifat konsep, kertas teknikal tanpa perbincangan mengenai halangan atau isu penerimaan

2.3 Strategi Pencarian Literatur

Satu pencarian komprehensif telah dijalankan di pelbagai pangkalan data akademik utama termasuk Scopus, ScienceDirect, Web of Science, dan Google Scholar. Istilah pencarian dibina menggunakan pengendali Boolean dan gabungan kata kunci seperti "Cloud-Based BIM" AND "Malaysia" AND "Construction", "Building Information Modelling" AND "Barriers" AND "Adoption", "Digital Transformation" AND "AEC industry" AND "Malaysia" dan "BIM implementation" AND "Coordination" AND "Cloud platform". Bagi meningkatkan liputan, kaedah snowballing mundur dan maju diterapkan pada artikel-artikel utama dan kajian-kajian yang banyak disitasi. Secara keseluruhannya, 52 dokumen telah dipilih selepas proses penapisan dan penilaian kualiti yang ketat.

2.4 Proses Pemilihan Kajian

Pencarian sistematik telah dijalankan untuk mengenal pasti kajian-kajian yang relevan dan selaras dengan skop ulasan ini. Strategi pencarian pada mulanya memperoleh 1,345 rekod dari pangkalan data akademik yang terkemuka. Setelah duplikasi dibuang, 783 rekod kekal untuk fasa penapisan tajuk dan abstrak. Daripada jumlah ini, 114 artikel teks penuh dinilai secara terperinci untuk kelayakan berdasarkan kriteria pemasukan dan pengecualian yang telah ditetapkan. Akhirnya, 52 artikel telah dipilih untuk analisis komprehensif dalam ulasan sistematik ini. Proses penapisan bertahap yang ketat ini memastikan hanya penerbitan yang berkualiti tinggi, relevan secara tematik, dan berasaskan empirikal yang dimasukkan. Rajah 1 menunjukkan diagram aliran PRISMA, yang memperincikan secara visual tahap pengenalan, penapisan, kelayakan, dan pemasukan dalam proses pemilihan.



Rajah 1: Diagram menunjukkan aliran PRISMA yang memperincikan proses pemilihan

2.5 Pengekstrakan Data dan Pengkodan

Bagi memastikan analisis yang konsisten dan komprehensif terhadap kajian-kajian yang dipilih, elemen data utama telah diekstrak dan disusun secara sistematik. Proses ini melibatkan butiran bibliografi (penulis, tahun, dan sumber penerbitan), jenis kajian (kualitatif, kuantitatif, atau kaedah campuran), fokus pihak berkepentingan (contohnya, kontraktor, perunding, badan kerajaan), dan halangan spesifik yang dilaporkan dalam setiap kertas. Selain itu, jika berkenaan, cadangan praktikal yang diberikan oleh pengarang untuk mengatasi cabaran yang dikenal pasti juga telah direkodkan.

Data yang diekstrak telah dikategorikan dan disusun ke dalam enam domain utama seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2, yang menerangkan setiap kategori data bersama definisinya dan sitasi representatif. Perisian VOSviewer dan NVivo digunakan untuk memudahkan pengkodan kualitatif dan pemetaan tematik kajian-kajian tersebut, sementara satu hampan matriks manual digunakan untuk menyemak silang dan mengesahkan data bagi meningkatkan ketelusan dan mengurangkan potensi bias. Pendekatan dua hala ini membolehkan proses sintesis yang ketat, boleh diulang, dan boleh dijejaki, memastikan bahawa rangka kerja pengkodan mencerminkan dengan tepat kepelbagaian sifat literatur yang dipilih.

Jadual 2: Pengekstrakan Data dan Pengkodan

Kategori Data	Penerangan	Contoh Sitasi
Penulis, Tahun, Sumber Penerbitan	Nama penulis, tahun penerbitan, dan sumber jurnal/persidangan untuk profil bibliometrik (contohnya, Ismail et al., 2020; Wong et al., 2019)	Ismail et al. (2020); Wong et al. (2019)
Jenis Kajian	Klasifikasi kepada kualitatif, kuantitatif, atau kaedah campuran berdasarkan reka bentuk kajian (contohnya, temubual separa berstruktur, soal selidik, atau model hibrid)	Ma et al. (2016); Tan et al. (2022)
Pihak Berkepentingan Sasaran	Mengenal pasti aktor utama yang dibincangkan dalam setiap kajian seperti kontraktor, perunding, badan pengawalselia, atau pelanggan (contohnya, Khudzari et al., 2021)	Khudzari et al. (2021); Mahat et al. (2019)

Halangan yang Dilaporkan	Cabaran utama yang dikenal pasti dan dikumpulkan dalam tema: teknologi, organisasi, undang-undang/peraturan, kewangan, dan budaya (contohnya, Ma et al., 2016; Xiong et al., 2020)	Xiong et al. (2020); Ma et al. (2016)
Cadangan	Cadangan praktikal yang disarankan oleh pengarang untuk mengatasi halangan yang dikenal pasti, jika ada (contohnya, latihan literasi digital, reformasi undang-undang)	Ismail et al. (2020); Wong et al. (2019)
Pendekatan Pengkodan Data	VOSviewer digunakan untuk pengkodan tematik, dilengkapi dengan pengesahan manual berasaskan hamparan untuk memastikan konsistensi dan ketelusan (contohnya, semakan silang matriks tematik manual)	Matriks pengkodan manual; Analisis perisian VOSviewer dan NVivo

2.6 Analisis Tematik

Selepas pengekstrakan, halangan-halangan yang dikenal pasti telah dikategorikan secara tematik kepada lima domain, (1) Halangan Teknologi, (2) Halangan Organisasi, (3) Halangan Peraturan dan Undang-Undang, (4) Halangan Kewangan dan (5) Faktor Budaya dan Manusia.

Ini merupakan pendekatan analitikal yang melibatkan pembangunan pemahaman yang tersusun mengenai corak-corak yang dilaporkan dan hubungan antara halangan-halangan tersebut.

3. ANALISIS DESKRIPTIF DAN BIBLIOMETRIK

Seksyen-seksyen berikut memberikan gambaran bibliometrik dan deskriptif mengenai 52 artikel yang dipilih dalam ulasan literatur sistematik mengenai halangan penerimaan *Cloud-based BIM* dalam projek pembinaan berskala besar di Malaysia. Deskripsi ini memberikan gambaran mengenai di mana kebanyakan literatur berada dari segi corak penerbitan, jenis penyelidikan, dan siapa pihak berkepentingan yang terlibat. Ini memberikan kita konteks mengenai tempat kami mengkaji literatur tersebut.

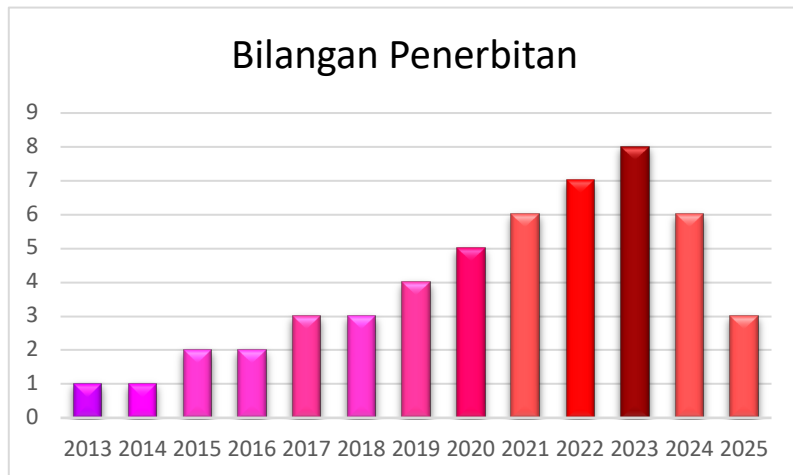
Trend tahunan artikel yang dipilih Rajah 2 menggambarkan minat akademik yang konsisten sejak 2013, dengan peningkatan yang ketara dalam penerbitan pada tahun 2019–2023. Pertumbuhan ini mencerminkan relevansi yang semakin meningkat terhadap transformasi digital dan kolaborasi yang didayakan oleh BIM dalam sektor pembinaan di Malaysia. Kebanyakan kajian diterbitkan dalam jurnal yang disemak rakan sebaya seperti *Automation in Construction*, *Advanced Engineering Informatics*, dan *Journal of Cleaner Production*, yang menunjukkan tahap ketelitian akademik yang tinggi dan relevansi terhadap amalan industri.

Dari segi orientasi metodologi, Rajah 3 menyarikan pengagihan jenis penyelidikan dalam kajian-kajian yang dipilih. Kira-kira 48% kajian menggunakan metodologi kualitatif, 33% menggunakan pendekatan kuantitatif, dan 19% menggunakan reka bentuk kaedah campuran. Ini mencadangkan penekanan yang kuat terhadap analisis eksploratori dan kontekstual dalam kalangan komuniti penyelidikan, sementara juga mengiktiraf satu trend yang semakin berkembang ke arah pengesahan empirik menggunakan teknik tinjauan atau statistik.

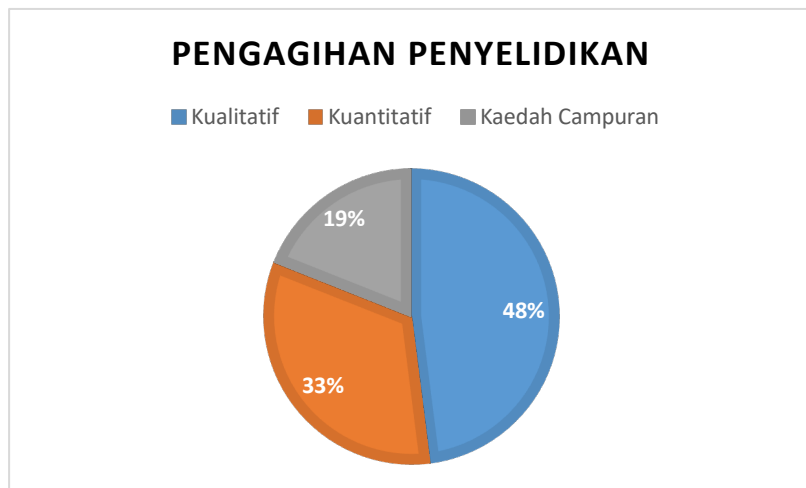
Perwakilan pihak berkepentingan dalam literatur yang dikaji Rajah 4 menunjukkan bahawa kontraktor dan perunding adalah kumpulan yang paling kerap dikaji, diikuti oleh arkitek, agensi kerajaan, dan pembekal perisian. Ini mencerminkan fokus operasi aplikasi *Cloud-based BIM*, yang sering dinilai dari perspektif pelaksana projek dan profesional reka bentuk. Walau bagaimanapun, penglibatan yang terhad daripada pembuat dasar dan pengurus fasiliti menunjukkan terdapat jurang penyelidikan dalam memahami pemacu institusi dari atas ke bawah dan penggunaan BIM pasca pembinaan.

Secara geografi, walaupun ulasan ini tertumpu pada Malaysia, beberapa kajian perbandingan yang melibatkan negara-negara Asia Tenggara lain juga dimasukkan untuk tujuan perbandingan. Rajah 5 menunjukkan pecahan lokasi kajian, menonjolkan dominasi Malaysia, tetapi juga mencatatkan kajian yang membuat perbandingan dengan penerimaan BIM di Singapura, Indonesia, dan China.

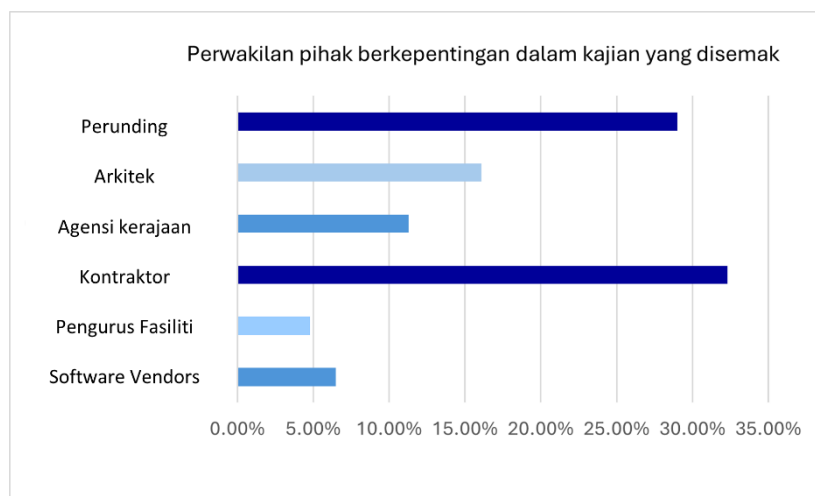
Akhirnya, analisis bibliometrik menggunakan alat seperti VOSviewer dan NVivo untuk pertanyaan frekuensi perkataan Rajah 6 mendedahkan istilah-istilah yang sering berulang seperti "koordinasi", "kolaborasi", "interoperabiliti", "halangan", "pihak berkepentingan", "BIM berasaskan awan", dan "platform awan". Kata kunci ini menekankan orientasi tematik literatur dan menguatkan keperluan untuk menangani integrasi, latihan, dan sokongan peraturan sebagai isu utama dalam pelaksanaan *Cloud-based BIM*.



Rajah 2 Jumlah penerbitan



Rajah 3: Pengagihan penyelidikan

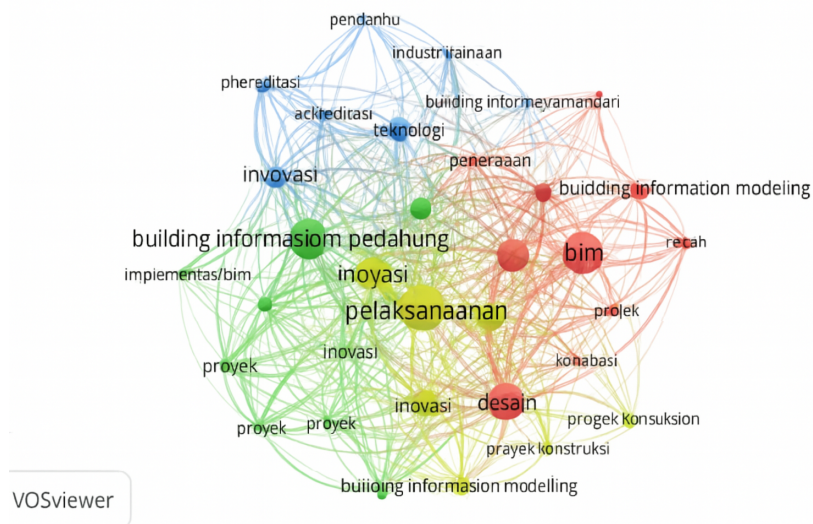


Rajah 4: Perwakilan Pihak Berkepentingan

Kajian Lokasi Negara-negara Asia Tenggara



Rajah 5 menunjukkan pecahan lokasi kajian



Rajah 6: Analisis bibliometrik

4. SINTESIS TEMATIK DAN KEPUTUSAN

Untuk mengkaji dengan komprehensif halangan-halangan terhadap penerimaan *Cloud-based BIM* dalam projek pembinaan berskala besar di Malaysia, satu sintesis tematik yang teliti telah dijalankan. Pendekatan ini memudahkan tafsiran dan integrasi penemuan-penemuan merentasi 52 kajian utama yang dipilih, membolehkan pengenalan corak-corak berulang dan tema-tema yang sedang berkembang. Halangan-halangan ini dikategorikan secara sistematik kepada lima dimensi yang saling berkaitan: teknologi, organisasi, undang-undang dan peraturan, kewangan, dan faktor budaya/manusia. Kategori-kategori ini mencerminkan bukan sahaja kesukaran teknikal dan operasi yang dihadapi, tetapi juga konteks institusi, ekonomi, dan sosio-tingkah laku yang membentuk landskap transformasi digital dalam industri AEC Malaysia.

Selain itu, Jadual 3 mempersembahkan gambaran keseluruhan yang disatukan mengenai kategori-kategori halangan ini, memperincikan sub-halangan spesifik, kajian yang berkaitan, dan kekerapan halangan-halangan tersebut dilaporkan dalam literatur yang dikaji.

4.1 Halangan Teknologi

Keterbatasan teknologi merupakan tema utama yang muncul dalam literatur yang dikaji. Walaupun BIM berasaskan awan secara teori menawarkan potensi untuk memudahkan kolaborasi masa nyata dan pengurusan data berpusat, pelaksanaan sebenar sering kali terhalang oleh kekurangan interoperabiliti antara alat BIM yang berbeza dan platform awan (Alreshidi et al., 2018; Berlato et al., 2025b)..

Kesukaran yang berterusan dalam menyatukan model yang dihasilkan di pelbagai perisian pencipta, yang menyebabkan kehilangan data dan pemecahan, sering ditekankan.

Selain itu, keterbatasan infrastruktur, terutamanya di kawasan luar bandar atau bukan bandar, menghadkan peluang untuk sambungan awan masa nyata, yang amat penting untuk akses model yang terselaraskan dan kolaborasi (García-Valls et al., 2014; Jayasena et al., 2024). Isu keselamatan siber, privasi data, dan kebolehpercayaan penyedia awan juga jelas disebut, dengan pihak berkepentingan tidak bersedia untuk mempercayakan data projek yang penting kepada platform pihak ketiga (Ahmad et al., 2021; Jørgensen & Ma, 2025).

4.2 Halangan Organisasi

Inersia dalam organisasi tetap menjadi pusat kepada penolakan transformasi digital. Penolakan daripada pengurusan peringkat tertinggi, yang disertai dengan pergantungan kuat terhadap teknologi CAD 2D atau BIM yang terputus, mencetuskan penolakan institusi untuk melabur dalam teknologi berasaskan awan yang transformative (Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019a; Ramilo & Embi, 2014). Kebanyakan firma juga tidak mempunyai pekerja yang berpengalaman dan memiliki pengetahuan tentang kedua-dua teknologi BIM dan infrastruktur awan, yang merencatkan keupayaan dalaman untuk pelaksanaan (Thirumal et al., 2024).

Selain itu, beberapa organisasi kekurangan pelan transformasi digital yang mantap, menyebabkan pelaksanaan BIM secara ad-hoc dan tidak mampan. Kegagalan untuk mewujudkan rangka kerja pengurusan perubahan, KPI prestasi, dan proses latihan formal meningkatkan penolakan dalaman (Ba et al., 2023).

4.3 Halangan Undang-Undang dan Peraturan

Persekitaran peraturan dan undang-undang Malaysia masih belum dapat sepenuhnya menerima kompleksiti yang diperkenalkan oleh kolaborasi BIM berasaskan awan. Masalah yang paling ketara adalah kekurangan standard BIM awan yang diterima secara nasional, tanggungjawab undang-undang yang kabur sekiranya berlaku kegagalan reka bentuk, dan pertikaian hak harta intelek berkaitan persekitaran digital yang dikongsi (Alreshidi et al., 2018b; Fateh et al., 2024).

Walaupun peta hala tuju telah dihasilkan oleh *Construction Industry Development Board (CIDB)* dan *Panduan eSubmission BIM Malaysia (2020)* telah diterbitkan, penguatkuasaan yang lemah dan penerimaan yang tidak merata masih berterusan (Alawag et al., 2022; Chatsuwon et al., 2024). Kekaburan dalam kontrak dan isu litigasi membataskan perniagaan daripada melaksanakan model awan yang boleh diakses oleh pelbagai pihak dan perkongsian model.

4.4 Halangan Kewangan

Kebimbangan kewangan adalah yang paling biasa, terutamanya bagi PKS (Bartolacci et al., 2020; Martins et al., 2022). Harga langganan yang rumit untuk perkhidmatan awan, kos perlesenan perisian, dan peningkatan IT yang diperlukan merupakan halangan yang signifikan (Okai et al., 2014). Selain itu, ketidakpastian pulangan pelaburan jangka panjang, disebabkan oleh kekurangan data benchmarking penanda aras selepas pelaksanaan, telah menghalang kebanyakan syarikat daripada komited sepenuhnya kepada peralihan BIM berasaskan awan (Bahulikar et al., 2024). Tambahan pula, sesetengah literatur juga menyatakan ketiadaan keselarasan antara program pembiayaan kerajaan semasa dan keperluan di peringkat firma, yang menunjukkan jurang insentif yang ada.

4.5 Faktor Budaya dan Manusia

Cabaran berasaskan manusia sangat tertanam dalam budaya. Kebanyakan pihak berkepentingan dalam projek masih menunjukkan tahap literasi digital yang rendah, terutamanya mengenai prinsip pengkomputeran awan dan aliran kerja yang dipacu oleh model (Noor et al., 2020). Selain itu, budaya kerja yang bersifat silo, ketiadaan kepercayaan bersama, dan penentangan terhadap perkongsian model terbuka melambatkan pelaksanaan projek secara kolaboratif (Miao et al., 2024).

Ketakutan yang mendalam terhadap ketinggalan zaman dalam kalangan profesional yang berpengalaman dan pembelajaran lintas disiplin yang terhad antara arkitek, jurutera, dan kontraktor juga menyukarkan penerimaan (A. Salingaros, 2024). Pemacu budaya ini bermakna penerimaan Cloud-based BIM harus dilengkapi dengan program pengurusan perubahan yang jelas dan latihan yang terstruktur.

Jadual 3. Kategorisasi halangan kepada penerimaan Cloud-Based BIM dalam projek pembinaan berskala besar di Malaysia

Kategori Halangan	Sub-Halangan	Kekerapan dalam Kajian yang Dikaji (n=52)	Sumber Rujukan
Teknologi	Kekurangan interoperabiliti antara alat BIM yang berbeza dan platform <i>cloud</i>	38	(Akman Syed Zakaria et al., 2018; Alreshidi et al., 2016; Ullah et al., 2019; Yaoli, 2020)
	Infrastruktur ICT yang tidak mencukupi di tapak pembinaan luar bandar/bukan bandar	29	(Khudzari et al., 2021; Leong et al., 2024; Olanrewaju et al., 2022)
	Isu keselamatan siber dan privasi data	33	(Alreshidi et al., 2016; Olanrewaju et al., 2022; Yaoli, 2020)
	Had pada keupayaan penyegerakan data masa nyata	21	(Johansson et al., 2015) (Yaoli, 2020), (R. Yang et al., 2016)
Organisasi	Kekurangan kakitangan terlatih dalam BIM dan teknologi <i>cloud</i>	35	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Bryde et al., 2013; Kamal et al., 2012; Yahoo & Othman, 2017; Yahya Al-Ashmori et al., 2019)
	Penolakan terhadap perubahan daripada pengurusan dan kakitangan senior	27	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Teknologi et al., 2015)
	Kekurangan program latihan dan pensijilan yang terstruktur	23	(Hadi Mustafa et al., 2024; Jaffar et al., 2022; Krivonogov et al., 2018)
	Komitmen kepimpinan yang lemah terhadap transformasi digital	19	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Kim et al., 2020)
Undang-Undang & Peraturan	Ketiadaan garis panduan pelaksanaan cloud-BIM kebangsaan	24	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Chong et al., 2021; Othman et al., 2021)
	Kekaburan hak milik harta intelek (IP) dan liabiliti	21	(Alreshidi et al., 2016; Eissa Alreshidi, 2016; Logothetis et al., 2018; Teknologi et al., 2015)
	Kekurangan rangka kerja undang-undang untuk data pembinaan yang dihoskan dalam <i>cloud</i>	18	(Ezzat Othman, 2013; Khudzari et al., 2021; Wong & Gray, 2019)
Kewangan	Kos awal yang tinggi untuk penerimaan cloud-BIM (perisian, perkakasan, latihan)	32	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Hadi Mustafa et al., 2024; Teknologi et al., 2015)
	Pulangan pelaburan (ROI) yang dilihat rendah dan tempoh pembayarannya yang panjang	17	(Kim et al., 2020; Yong & Mustaffa, 2013)
	Insentif kewangan/subsidi yang terhad daripada kerajaan	14	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Dehdasht et al., 2022; Nisa Lau et al., 2018)
Budaya & Manusia	Keutamaan terhadap kaedah konvensional (2D CAD, BIM offline)	26	(Logothetis et al., 2018; Teknologi et al., 2015; Wong & Gray, 2019; Zulkarnain et al., 2019)
	iterasi digital yang rendah dan kesedaran mengenai manfaat cloud-BIM	22	(Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Wong & Gray, 2019)
	Keengganan untuk berkongsi data dalam persekitaran kolaboratif	19	(Jaffar et al., 2022; Ullah et al., 2019; Yong & Mustaffa, 2012)

5. PERBINCANGAN

SLR ini mengkaji secara kritis halangan yang telah disintesis untuk penerimaan *Cloud-Based Building Information Modelling (BIM)* dalam projek pembinaan berskala besar di Malaysia. Walaupun manfaat *Cloud-based BIM* seperti kerjasama masa nyata, koordinasi yang lebih baik, dan akses maklumat dari satu tempat telah terbukti, penerimaannya di lapangan lebih kompleks dan berbeza-beza. Halangan yang dihadapi bukan sahaja rumit, tetapi juga saling bergantung antara satu sama lain, termasuk keengganan terhadap aliran kerja konvensional dan ketidaksesuaian sistemik dalam sistem pembinaan di Malaysia.

5.1 Ketergantungan Faktor Teknologi, Organisasi, dan Manusia

Penerimaan *Cloud-based BIM* sering disalah anggap sebagai peralihan yang sepenuhnya berasaskan teknologi (Editors et al., 2014). Namun, kajian semula ini menekankan sifat sosio-teknikal transformasi digital. Halangan teknikal, seperti masalah keserasian perisian, kekurangan infrastruktur Internet, dan ancaman siber, secara asasnya adalah sebahagian daripada kesiapan organisasi dan tingkah laku manusia.

Sebagai contoh, tanpa kakitangan terlatih atau sokongan pengurusan, platform *Cloud* yang paling maju sekalipun tetap tidak dimanfaatkan sepenuhnya atau dikonfigurasi dengan betul (Berlilana et al., 2021; George, 2024). Begitu juga, ketakutan terhadap manipulasi model dan kehilangan data menghalang pertukaran model, mengekalkan budaya "silo" yang menghalang kerjasama. Perkaitan ini menggambarkan cabaran ko-evolusi: peningkatan teknologi perlu berkembang selari dengan budaya institusi, kemampuan digital, dan amalan pengurusan perubahan. Ko-evolusi ini tertinggal di Malaysia disebabkan oleh tahap kematangan yang berbeza antara firma, profesion, dan lokasi.

5.2 Ketidakselarasan Institusi dan Regulasi

Penilaian menunjukkan ketidaksesuaian yang mendalam antara objektif strategik Malaysia dan keadaan operasi semasa (Chin et al., 2014). Walaupun inisiatif kerajaan seperti CITP (Construction Industry Transformation Programme) dan Peta Jalan BIM telah dilaksanakan, penguatkuasaan peraturan masih lemah (Suria, 2019). Sifat garis panduan yang bersifat pilihan, ketiadaan mandat nasional untuk BIM sepenuhnya, dan kurangnya perlindungan undang-undang dalam kolaborasi digital menghalang firma daripada menerima *Cloud-based BIM* (Ahmed et al., 2024). Selain itu, templat kontrak standard semasa tidak menangani dengan secukupnya tanggungjawab digital yang biasa, hak harta intelek (IP), atau liabiliti kesilapan model (Savelyev, 2017). Jurang ini mendedahkan firma kepada ketidakpastian undang-undang dan menurunkan minat mereka terhadap inovasi dalam persekitaran *Cloud* yang terbuka (Gozman & Willcocks, 2019). Isu ini semakin diperburuk oleh ketiadaan prosedur operasi standard (SOP) untuk perkongsian data merentas disiplin (Steen-Tveit et al., 2024).

5.3 Kekangan Ekonomi dan Kerentanan Perusahaan Kecil dan Sederhana (PKS)

Dari segi ekonomi, kos tinggi perisian BIM, storan *Cloud*, dan tenaga kerja terlatih adalah halangan besar, terutamanya bagi PKS (Adillah Ismail et al., 2022). Walaupun kontraktor besar atau projek kerajaan mampu menanggung kos ini, pemain yang lebih kecil biasanya tidak dapat membenarkan pelaburan tersebut tanpa manfaat yang boleh diukur dalam tempoh masa yang dekat (Aisyah Asyikin Mahat et al., 2019; Volland et al., 2022).

Ini telah menghasilkan jurang digital di mana hanya kumpulan elit aktor industri yang mendapat manfaat daripada koordinasi berasaskan awan, manakala yang lain tertinggal dalam proses konvensional yang terpecah. Selain itu, kebanyakan PKS tidak menyedari inisiatif pembiayaan, geran, atau inisiatif inovasi awam-swasta, mencerminkan ketidaksamaan maklumat yang berfungsi menentang pendigitalan yang lebih inklusif.

5.4 Rintangan Budaya/ Cara Bekerja dan Kolaborasi yang Terasing

Sektor pembinaan di Malaysia adalah budaya yang menghindari risiko di mana hierarki tradisional, kontrak berhadap-hadapan, dan silo berasaskan disiplin mendominasi pelaksanaan projek. Budaya seperti ini adalah halangan utama kepada keperluan *Cloud-based BIM* secara budaya kerjasama. Penemuan kajian ini menunjukkan bahawa profesional cenderung bekerja dalam sempadan tertutup disebabkan kebimbangan terhadap tanggungjawab, penyalahgunaan model, atau bahkan redundansi pekerjaan.

Rintangan ini bukan sahaja bersifat teknikal tetapi juga tingkah laku dan psikologi. Mencapai kejayaan *Cloud-based BIM* memerlukan kepercayaan bersama, definisi peranan, dan tanggungjawab bersama, merupakan aspek-aspek yang masih hilang dalam kebanyakan projek. Selain itu, pendidikan profesional dan latihan Pembangunan Profesional Berterusan (CPD) tertinggal di belakang kemajuan teknologi, menambah lagi jurang antara keupayaan perisian dan kemahiran tenaga kerja.

5.5 Perbandingan Antarabangsa dan Pengajaran Daripada Penanda Aras

Berbanding dengan negara-negara seperti United Kingdom, Singapura, dan Korea Selatan yang telah mengintegrasikan BIM melalui dasar yang jelas dan pengurusan digital, pendekatan di Malaysia yang bersifat terpecah, berasaskan inisiatif dari bawah ke atas, dan sukarela masih ketinggalan. Keadaan ini mengakibatkan corak pengambilan BIM yang tidak sekata, kejayaan yang terhad, serta kurangnya perkongsian pembelajaran antara projek. Selain itu, ketiadaan piawaian penanda aras nasional atau pangkalan data mengenai kejayaan-kejayaan BIM menghalang proses pembelajaran reflektif dan memperlahankan kemajuan transformasi digital dalam industri.

Bukti daripada perbandingan global menunjukkan bahawa penyelarasan strategik antara kerajaan, akademik, dan industri adalah faktor utama dalam memastikan pelaksanaan BIM yang berjaya. Di Malaysia, hubungan antara institusi-institusi ini masih lemah, dengan sedikit koordinasi dalam penyelidikan BIM, pembangunan kurikulum, atau penyebaran infrastruktur berasaskan *Cloud*.

5.6 Implikasi Praktikal dan Cadangan Polisi

Hasil kajian ini mencadangkan perlunya satu strategi intervensi sistematik untuk mengatasi halangan terhadap penerimaan BIM berasaskan *Cloud* di Malaysia. Pendekatan yang terkoordinasi diperlukan, melibatkan beberapa langkah utama. Pertama, Reformasi Peraturan yang meliputi pengenalan mandat BIM yang boleh dikuatkuasakan serta prosedur operasi standard (SOP) *Cloud-based BIM* yang disokong oleh instrumen undang-undang. Kedua, Mekanisme Insentif yang melibatkan pemberian geran dan faedah cukai yang disasarkan kepada PKS yang menerima *Cloud-based BIM*, mirip dengan inisiatif iBuildSG di Singapura. Ketiga, Pembangunan Kapasiti melalui pengintegrasian modul *Cloud-BIM* dalam kurikulum universiti dan mensubsidikan program pemerksaan kemahiran melalui CIDB atau HRDCorp. Keempat, Projek Perintis yang menggunakan projek mega sektor awam sebagai tempat ujian untuk inovasi BIM, yang dapat menunjukkan amalan terbaik serta hasil yang boleh diukur. Terakhir, Kempen Literasi Digital yang melibatkan sesi kesedaran dan demonstrasi alat BIM yang disesuaikan dengan keperluan kakitangan bukan teknikal, bagi memastikan penerimaan yang lebih inklusif.

Secara keseluruhannya, perbincangan ini mengesahkan bahawa halangan terhadap *Cloud-based BIM* di Malaysia adalah pelbagai dan saling bergantung, mencakup faktor teknikal, budaya, institusi, dan ekonomi. Untuk membuka potensi penuh BIM berasaskan awan, ia memerlukan lebih daripada sekadar pengenalan alat, tetapi juga visi yang jelas, kepimpinan yang berkesan, insentif yang menyokong, dan perubahan sistemik dalam industri.

6. KEKOSONGAN PENYELIDIKAN DAN ARAHAN MASA DEPAN

Analisis sistematik terhadap 52 kajian telah mendedahkan kemajuan yang signifikan dalam meneroka cabaran dan peluang penerimaan *Cloud-Based BIM*. Namun, terdapat beberapa kekosongan penyelidikan yang kritikal, baik dari segi teori mahupun empirik, yang perlu diatasi untuk memajukan pelaksanaan *Cloud-based BIM* dalam projek pembinaan berskala besar di Malaysia.

6.1 Kekurangan Kajian Empirik dalam Konteks Malaysia

Walaupun literatur menunjukkan minat yang semakin berkembang dalam pelaksanaan BIM, hanya sedikit kajian yang menumpukan secara khusus pada *Cloud-based BIM* di Malaysia. Kebanyakan penyelidikan sama ada meneroka penerimaan BIM secara umum atau membincangkan pengkomputeran awan secara berasingan. Kekurangan data empirik yang terlokalisasi membataskan pembangunan rangka kerja yang spesifik kepada konteks yang mencerminkan ciri-ciri sosio-ekonomi, undang-undang, dan budaya yang unik dalam sektor pembinaan Malaysia.

6.2 Ketiadaan Rangka Kerja Bersepadu yang Melibatkan Semua Pihak Berkepentingan

Ramai kajian mengkaji halangan secara terasing (contohnya, teknikal atau organisasi), tetapi sedikit yang mengambil pendekatan holistik yang melibatkan semua pihak berkepentingan, termasuk pemilik projek, perunding, kontraktor, subkontraktor, dan badan pengawalseliaan. Tanpa rangka kerja yang inklusif, kerumitan koordinasi *Cloud-based BIM* merentas rantai bekalan pembinaan tidak dapat digambarkan dengan sepenuhnya.

6.3 Kekurangan Kajian Pemodelan Undang-undang dan Kontrak

Walaupun cabaran undang-undang dan pengawalseliaan sering disebutkan, hanya sebilangan kecil kajian yang menawarkan rangka kerja undang-undang atau template kontrak yang menangani isu-isu seperti pemilikan model, hak akses, perlindungan harta intelek (IP), dan pembahagian tanggungjawab. Ketidaktepatan tanggungjawab undang-undang dalam persekitaran berasaskan awan terus menjadi penghalang terhadap kerjasama.

6.4 Dinamik Penerimaan PKS yang Belum Diterokai

PKS mewakili sebahagian besar industri pembinaan Malaysia, namun mereka masih kurang diwakili dalam literatur BIM. Kebanyakan kajian tertumpu kepada firma besar atau projek yang dipimpin oleh kerajaan. Ini membataskan pemahaman tentang bagaimana firma lebih kecil melihat, menerima, atau menentang *Cloud-based BIM*, serta bagaimana jurang kewangan, teknikal, dan pengetahuan dapat diatasi di peringkat ini.

6.5 Kekurangan dalam Model Penilaian Impak Kuantitatif

Terdapat kekurangan kajian yang menawarkan model kuantitatif untuk menilai kos-manfaat, pulangan pelaburan (ROI), atau peningkatan produktiviti yang dikaitkan dengan penerimaan *Cloud-based BIM*. Ketiadaan hasil yang boleh diukur mengurangkan keyakinan dalam pengambilan keputusan strategik di peringkat organisasi dan dasar.

6.6 Kekurangan Integrasi Teknologi Baru yang Berkembang

Walaupun BIM dan *cloud computing* sering dibincangkan bersama, sedikit kajian yang meneroka sinergi *Cloud-based BIM* dengan teknologi baru yang sedang berkembang seperti: *Internet of Things* (IoT), Kecerdasan Buatan (AI) dan pembelajaran mesin, *Blockchain* (untuk integriti kontrak dan data), serta *Digital Twins*. Integrasi ini dapat mentakrifkan semula *Cloud-BIM* sebagai ekosistem dinamik, tetapi masih kurang diterokai dalam konteks Malaysia.

6.7 Kekurangan Perbandingan Polisi dan Penanda Aras Institusi

Kajian perbandingan yang membandingkan inisiatif *Cloud-based BIM* Malaysia dengan negara-negara terkemuka seperti UK, Singapura, atau Korea Selatan adalah terhad. Perbandingan ini dapat memberikan wawasan yang berharga untuk pemindahan polisi, inovasi pengawalseliaan, dan pembangunan kapasiti. Dengan menangani kekosongan ini, penyelidikan masa depan dapat menyumbang ke arah rangka kerja penerimaan *Cloud-based BIM* yang lebih inklusif, boleh diukur, dan boleh dilaksanakan yang disesuaikan dengan industri pembinaan Malaysia.

Jadual 4: Ringkasan Kekosongan Penyelidikan

Area Kekosongan	Penerangan	Arah Cadangan
Kekosongan Kontekstual	Kekurangan penyelidikan empirik khusus untuk Malaysia	Kajian kes tentang projek mega Malaysia
Kekosongan Rangka Kerja	Ketiadaan integrasi semua pihak berkepentingan	Rangka kerja koordinasi multi-pihak
Kekosongan Undang-Undang	Tiada kontrak/undang-undang standard untuk cloud BIM	Membangunkan template kontrak digital

Penglibatan PKS	Kekurangan penglibatan kontraktor kecil	Penyelidikan tingkah laku PKS yang terperinci
Bukti Kuantitatif	Kekurangan metrik ROI dan produktiviti	Model simulasi dan ekonometrik
Integrasi Teknologi	Cloud-BIM + AI/IoT/Digital Twins	Sistem teknologi terintegrasi prototaip
Penanda Aras Polisi	Kekurangan perbandingan antarabangsa	Penanda aras penerimaan BIM merentas negara

7. RUMUSAN

Kajian Literatur Sistematis (SLR) ini telah menjalankan analisis mendalam terhadap pengetahuan sedia ada mengenai halangan-halangan yang menghalang penerimaan *Cloud-based BIM* dalam projek pembinaan berskala besar di Malaysia. Melalui kajian 52 artikel yang disemak rakan sebaya, lima kategori halangan utama yang saling berkait telah dikenalpasti: Teknologi, Organisasi, Undang-undang dan Peraturan, Kewangan, serta Faktor Budaya/Manusia. Halangan-halangan ini secara keseluruhan menyekat pengambilan *Cloud-based BIM* secara meluas dalam sektor pembinaan di Malaysia.

Walaupun manfaat *Cloud-based BIM*, seperti peningkatan koordinasi, penyatuan data, dan kolaborasi masa nyata, telah terbukti secara global, pengambilan teknologi ini di Malaysia masih berlaku dengan perlahan dan tidak seimbang. Kelewatan ini bukan hanya disebabkan oleh kekangan teknologi, tetapi juga oleh gabungan masalah sistemik yang lebih kompleks. Antaranya ialah kekurangan kemahiran digital, ketidakpastian dalam aspek undang-undang, sokongan peraturan yang tidak konsisten, isu kewangan (terutama di kalangan PKS), serta penolakan terhadap perubahan dalam amalan industri yang telah terbentuk lama.

Kajian ini turut mengenal pasti jurang penyelidikan yang signifikan, terutamanya dalam kajian empirikal yang melibatkan pelbagai pihak berkepentingan serta dalam pembangunan rangka kerja undang-undang, kontrak, dan teknologi yang lebih bersepadu. Jurang-jurang ini menekankan perlunya usaha pelbagai dimensi untuk mempermudah pelaksanaan *Cloud-based BIM*. Usaha ini perlu memfokuskan kepada penyelarasan peraturan, pembangunan kapasiti, inklusi PKS, serta penerapan strategik teknologi baharu seperti *AI*, *IoT*, dan *blockchain*.

Beberapa cadangan utama untuk mengatasi halangan-halangan yang dikenalpasti termasuk: (1) Reformasi Peraturan: Pengenalan standard dan peraturan yang jelas serta boleh dikuatkuasakan bagi *Cloud-based BIM*; (2) Pembangunan Kapasiti: Fokus kepada latihan teknikal dan transformasi budaya dalam organisasi; (3) Inklusi PKS: Menangani cabaran kewangan dan sumber yang dihadapi oleh PKS melalui insentif dan sokongan yang disasarkan; (4) Integrasi Teknologi: Penggunaan teknologi baharu untuk meningkatkan keupayaan *Cloud-based BIM*; (5) Pengurusan Perubahan: Mengatasi penolakan terhadap perubahan melalui komitmen kepimpinan dan transformasi budaya dalam industri secara berperingkat.

Akhirnya, peralihan kepada *Cloud-based BIM* di Malaysia memerlukan lebih daripada sekadar inovasi teknologi. Ia memerlukan transformasi menyeluruh dalam tingkah laku organisasi, rangka kerja dasar, dan budaya industri. Penemuan kajian ini dijangka dapat membimbing penyelidikan masa depan, mempengaruhi pembentukan dasar, serta memberikan panduan yang berguna kepada pengamal industri dalam merancang dan melaksanakan strategi BIM, terutamanya di negara-negara yang sedang membangun. Dengan mengatasi halangan-halangan yang dikenal pasti, Malaysia berpotensi untuk melangkah lebih jauh daripada projek perintis dan menginstitusikan *Cloud-based BIM* sebagai standard kebangsaan dalam projek pembinaan berskala besar, sekaligus meletakkan negara ini sebagai peneraju dalam transformasi digital sektor pembinaan.

Kesimpulannya, untuk mencapai pengambilan *Cloud-based BIM* secara meluas di Malaysia, ia bukan hanya melibatkan keupayaan teknologi semata-mata. Sebaliknya, ia memerlukan pendekatan menyeluruh yang menyelaraskan alat digital dengan kesiapsiagaan peraturan, organisasi, dan budaya, memastikan bahawa semua pihak berkepentingan bersedia untuk menghadapi peralihan ini. Pendekatan ini akan memudahkan sektor pembinaan yang lebih inklusif, berkesan, dan inovatif pada masa akan datang.

Penghargaan

Kajian ini dibiayai oleh geran penyelidikan daripada Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia untuk Fundamental Research Grant Scheme (FRGS) dengan Kod Projek: FRGS/1/2023/SSI02/USM/02/5

Rujukan

- A. Salingaros, N. (2024). ARCHITECTURAL KNOWLEDGE: LACKING A KNOWLEDGE SYSTEM, THE PROFESSION REJECTS HEALING ENVIRONMENTS THAT PROMOTE HEALTH AND WELL-BEING. *New Design Ideas*, 8(2), 261–299. <https://doi.org/10.62476/ndi82261>
- Adillah Ismail, N. A., Aswad Zulkifli, M. Z., Azrin Baharuddin, H. E., Wan Ismail, W. N., & Mustapha, A. A. (2022). Challenges of Adopting Building Information Modelling (BIM) Technology amongst SME's Contractors in Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1067(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1067/1/012047>
- Ahmad, W., Rasool, A., Javed, A. R., Baker, T., & Jalil, Z. (2021). Cyber Security in IoT-Based Cloud Computing: A Comprehensive Survey. *Electronics*, 11(1), 16. <https://doi.org/10.3390/electronics11010016>
- Ahmed, Y. A., Shehzad, H. M. F., Khurshid, M. M., Abbas Hassan, O. H., Abdalla, S. A., & Alrefai, N. (2024). Examining the effect of interoperability factors on building information modelling (BIM) adoption in Malaysia. *Construction Innovation*, 24(2), 606–642. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2021-0245>
- Aisyah Asyikin Mahat, N., Nur Aina Syed Alwee, S., Adnan, H., & Arzlee Hassan, A. (2019a). Propelling Green Building Technologies Adoption in Malaysia Construction Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 233(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/233/2/022032>
- Aisyah Asyikin Mahat, N., Nur Aina Syed Alwee, S., Adnan, H., & Arzlee Hassan, A. (2019b). Propelling Green Building Technologies Adoption in Malaysia Construction Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 233, 022032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/233/2/022032>
- Akmam Syed Zakaria, S., Gajendran, T., Skitmore, M., & Brewer, G. (2018). Key factors influencing the decision to adopt industrialised building systems technology in the Malaysian construction industry: an inter-project perspective. *Architectural Engineering and Design Management*, 14(1–2), 27–45. <https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1298512>
- Alawag, A. M., Alaloul, W. S., Liew, M. S., Al-Ashmori, A., Alqadami, A. T., & Ammad, S. (2022). Application of Industrialised Building System in the Field of Construction toward Sustainability: Future Routes and a Theoretical Mapping. *2022 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, 82–88. <https://doi.org/10.1109/3ICT56508.2022.9990879>
- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2016). *THE DEVELOPMENT PROCESS OF A CLOUD-BASED BIM GOVERNANCE PLATFORM*.
- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2018a). Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects. *Requirements Engineering*, 23(1), 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00766-016-0254-6>

- Alreshidi, E., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2018b). Requirements for cloud-based BIM governance solutions to facilitate team collaboration in construction projects. *Requirements Engineering*, 23(1), 1–31. <https://doi.org/10.1007/s00766-016-0254-6>
- Ba, Z., Wang, Q., Chen, C., Liu, Z., Peh, L., & Tiong, R. (2023). Change Management of Organizational Digital Transformation: A Proposed Roadmap for Building Information Modelling-Enabled Facilities Management. *Buildings*, 14(1), 27. <https://doi.org/10.3390/buildings14010027>
- Bahulikar, S., Hudnurkar, M., Chattopadhyay, A., & Nallusamy. (2024). *Industry 4.0 Implementation at SME Suppliers in Supply Chains: Qualitative Insights from OEMs*. <https://www.researchgate.net/publication/390519688>
- Bartolacci, F., Caputo, A., & Soverchia, M. (2020). Sustainability and financial performance of small and medium sized enterprises: A bibliometric and systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 29(3), 1297–1309. <https://doi.org/10.1002/bse.2434>
- Begić, H., & Galić, M. (2021). A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise. *Buildings*, 11(8), 337. <https://doi.org/10.3390/buildings11080337>
- Berlato, M., Binni, L., Durmus, D., Gatto, C., Giusti, L., Massari, A., Toldo, B. M., Cascone, S., & Mirarchi, C. (2025a). Digital Platforms for the Built Environment: A Systematic Review Across Sectors and Scales. *Buildings*, 15(14), 2432. <https://doi.org/10.3390/buildings15142432>
- Berlato, M., Binni, L., Durmus, D., Gatto, C., Giusti, L., Massari, A., Toldo, B. M., Cascone, S., & Mirarchi, C. (2025b). Digital Platforms for the Built Environment: A Systematic Review Across Sectors and Scales. *Buildings*, 15(14), 2432. <https://doi.org/10.3390/buildings15142432>
- Berlilana, Noparumpa, T., Ruangkanjanases, A., Hariguna, T., & Sarmini. (2021). Organization Benefit as an Outcome of Organizational Security Adoption: The Role of Cyber Security Readiness and Technology Readiness. *Sustainability*, 13(24), 13761. <https://doi.org/10.3390/su132413761>
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7), 971–980. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Chatsuwan, M., Manajitt, B., Masayuki Ichinose, A., & Alkhalaf, H. (2024). *A Review of BIM Maturity in Standards and Guidelines Across Asia*.
- Chin, T. A., Hamid, A. B. A., Rasli, A., & Tat, H. H. (2014). A Literature Analysis on the Relationship between External Integration, Environmental Uncertainty and Firm Performance in Malaysian SMEs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 130, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.04.010>
- Chong, A., Gu, Y., & Jia, H. (2021). Calibrating building energy simulation models: A review of the basics to guide future work. In *Energy and Buildings* (Vol. 253). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111533>
- Dehdasht, G., Ferwati, M. S., Abidin, N. Z., & Oyedeji, M. O. (2022). Trends of construction industry in Malaysia and its emerging challenges. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 27(2), 161–178. <https://doi.org/10.1108/JFMPC-08-2020-0054>

- Editors, G., Johnny Wong, L. H., Professor, A., Wang, X., Chair, W., Li, H., Professor, C., Chan, G., Fellow, P., Li, H., Lecturer, S., & Wong, J. (2014). A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. In *Journal of Information Technology in Construction* (Vol. 19). <http://www.itcon.org/2014/16>
- Eissa Alreshidi. (2016). State-of-the-art and future directions of cloud-based BIM governance solutions. *Engineering, Computer Science*.
- Ezzat Othman, A. A. (2013). Challenges of mega construction projects in developing countries. *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal*, 5(1), 730–746. <https://doi.org/10.5592/otmcj.2013.1.10>
- Farouk, A. M., Zulhisham, A. Z., Lee, Y. S., Rajabi, M. S., & Rahman, R. A. (2023). Factors, Challenges and Strategies of Trust in BIM-Based Construction Projects: A Case Study in Malaysia. *Infrastructures*, 8(1), 13. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8010013>
- Fateh, M. A. M., Amri, Q., & Zulkeflee, A. A. (2024). Cloud-Based Real-Time Collaboration in the Construction Planning Phase: Adoption, Implementation and Success Factors Explored. *Journal of Construction in Developing Countries*, 29(2), 207–230. <https://doi.org/10.21315/jcdc-11-23-0165>
- Gambatese, J. A., & Hallowell, M. (2011). Factors that influence the development and diffusion of technical innovations in the construction industry. *Construction Management and Economics*, 29(5), 507–517. <https://doi.org/10.1080/01446193.2011.570355>
- García-Valls, M., Cucinotta, T., & Lu, C. (2014). Challenges in real-time virtualization and predictable cloud computing. *Journal of Systems Architecture*, 60(9), 726–740. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2014.07.004>
- George, A. S. (2024). *Consequences of Enterprise Cloud Migration on Institutional Information Technology Knowledge*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10938874>
- Gozman, D., & Willcocks, L. (2019). The emerging Cloud Dilemma: Balancing innovation with cross-border privacy and outsourcing regulations. *Journal of Business Research*, 97, 235–256. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.06.006>
- Hadi Mustafa, M., Azli Mohd Rahim, F., Farhana Jamaludin, A., & Yi Hin, K. (2024). BIG DATA ANALYTICS (BDA) FRAMEWORK FOR CONSTRUCTION COST ESTIMATION IN MALAYSIA. In *Journal of the Malaysian Institute of Planners* (Vol. 22).
- Hosamo, H. H., Imran, A., Cardenas-Cartagena, J., Svennevig, P. R., Svidt, K., & Nielsen, H. K. (2022). A Review of the Digital Twin Technology in the AEC-FM Industry. *Advances in Civil Engineering*, 2022(1). <https://doi.org/10.1155/2022/2185170>
- Izbash, Y., & Babayev, V. (2024). Digital Evolution in AEC industry: Bridging BIM, Building Codes, and Future Technologies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1376(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1376/1/012004>
- Jaffar, N., Affendi, N. I. N., Mohammad Ali, I., Ishak, N., & Jaafar, A. S. (2022). Barriers of Green Building Technology Adoption in Malaysia: Contractors' Perspective. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 12(8). <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v12-i8/14490>

- Jayasena, N. S., Chan, D. W. M., & Kumaraswamy, M. (2024). Benefits, enablers and barriers in deploying PPP when developing smart infrastructure in non-urban areas. *Built Environment Project and Asset Management*, 14(1), 92–108. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2022-0206>
- Johansson, M., Roupé, M., & Bosch-Sijtsema, P. (2015). Real-time visualization of building information models (BIM). *Automation in Construction*, 54, 69–82. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.018>
- Jørgensen, B. N., & Ma, Z. G. (2025). Impact of EU Regulations on AI Adoption in Smart City Solutions: A Review of Regulatory Barriers, Technological Challenges, and Societal Benefits. *Information*, 16(7), 568. <https://doi.org/10.3390/info16070568>
- Kamal, E. M., Haron, S. H., Ulang, N. M., & Baharum, F. (2012). The Critical Review on the Malaysian Construction Industry. In *Journal of Economics and Sustainable Development* www.iiste.org ISSN (Vol. 3, Issue 13). Online. www.iiste.org
- Khudzari, F., Rahman, R. A., & Ayer, S. K. (2021). Factors Affecting the Adoption of Emerging Technologies in the Malaysian Construction Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 641(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/641/1/012006>
- Kim, K. P., Freda, R., & Nguyen, T. H. D. (2020). Building information modelling feasibility study for building surveying. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114791>
- Krivosnogov, A., Zakharova, G., Kruglikov, S., & Plotnikov, S. (2018). Implementation of BIM-technologies in the educational program of the architectural university. *MATEC Web of Conferences*, 146. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814601001>
- Leong, L. K., Manickam, L., Haque, R., Jumbulingam, K., & Noordin, N. B. M. (2024). Embracing Digital Transformation for Sustainable Business in the Construction Industry. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 22(2), 1621–1640. <https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.2.00113>
- Logothetis, S., Karachaliou, E., Valari, E., & Stylianidis, E. (2018). Open source cloud-based technologies for BIM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2), 607–614. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-607-2018>
- Manzoor, B., Othman, I., & Pomares, J. C. (2021). Digital Technologies in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry—A Bibliometric—Qualitative Literature Review of Research Activities. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 6135. <https://doi.org/10.3390/ijerph18116135>
- Martins, A., Branco, M. C., Melo, P. N., & Machado, C. (2022). Sustainability in Small and Medium-Sized Enterprises: A Systematic Literature Review and Future Research Agenda. *Sustainability*, 14(11), 6493. <https://doi.org/10.3390/su14116493>
- Miao, C., Wang, H., Meng, X., Hou, X., Yan, Y., Liu, S., & He, Y. (2024). BIM-Supported Knowledge Collaboration: A Case Study of a Highway Project in China. *Sustainability*, 16(20), 9074. <https://doi.org/10.3390/su16209074>
- Nisa Lau, S. E., Zakaria, R., Aminudin, E., Saar, C. C., Yusof, A., & Hafifi Che Wahid, C. M. F. (2018). A Review of Application Building Information Modeling (BIM) during Pre-Construction Stage:

Retrospective and Future Directions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 143(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/143/1/012050>

- Noor, H. R. M. N. R., Khairil Izam Che Ibrahim, C., & Belayutham, S. (2020). A REVIEW AND CONCEPTUALIZATION FOR SOCIAL COLLABORATION ACHIEVEMENT IN BIM CONSTRUCTION CONTEXT. *Journal of Surveying, Construction and Property*. <http://ejournal.um.edu.my/publish/JSCP/1>
- Okai, S., Uddin, M., Arshad, A., Alsaqour, R., & Shah, A. (2014). Cloud Computing Adoption Model for Universities to Increase ICT Proficiency. *Sage Open*, 4(3). <https://doi.org/10.1177/2158244014546461>
- Olanrewaju, O. I., Enegbuma, W. I., Donn, M., & Chileshe, N. (2022). Building information modelling and green building certification systems: A systematic literature review and gap spotting. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 81). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103865>
- Onungwa, I., Olugu-Uduma, N., & Shelden, D. R. (2021). Cloud BIM Technology as a Means of Collaboration and Project Integration in Smart Cities. *Sage Open*, 11(3). <https://doi.org/10.1177/21582440211033250>
- Othman, I., Al-Ashmori, Y. Y., Rahmawati, Y., Mugahed Amran, Y. H., & Al-Bared, M. A. M. (2021). The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.007>
- Petri, I., Beach, T., Rana, O. F., & Rezgui, Y. (2017). Coordinating multi-site construction projects using federated clouds. *Automation in Construction*, 83, 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.011>
- Pollock, A., & Berge, E. (2018). How to do a systematic review. *International Journal of Stroke*, 13(2), 138–156. <https://doi.org/10.1177/1747493017743796>
- Ramilo, R., & Embi, M. R. Bin. (2014). Critical analysis of key determinants and barriers to digital innovation adoption among architectural organizations. *Frontiers of Architectural Research*, 3(4), 431–451. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.06.005>
- Rethlefsen, M. L., & Page, M. J. (2021). PRISMA 2020 and PRISMA-S: common questions on tracking records and the flow diagram. *Journal of the Medical Library Association*, 110(2). <https://doi.org/10.5195/jmla.2022.1449>
- Savelyev, A. (2017). Contract law 2.0: ‘Smart’ contracts as the beginning of the end of classic contract law. *Information and Communications Technology Law*, 26(2), 116–134. <https://doi.org/10.1080/13600834.2017.1301036>
- Siganul, A. P., & Puspitasari, S. D. (2025). Challenges and Opportunities in Implementing Green Building Materials in Malaysia. *Civil and Sustainable Urban Engineering*, 5(1), 69–87. <https://doi.org/10.53623/csue.v5i1.689>
- Steen-Tveit, K., Munkvold, B. E., & Rustenberg, K. (2024). Use of Standard Operating Procedures for Supporting Cross-Organizational Emergency Management: Challenges and Opportunities Identified

from a Tabletop Exercise. *International Journal of Disaster Risk Science*, 15(5), 673–687.
<https://doi.org/10.1007/s13753-024-00583-5>

Suria Musa. (2019). *A FRAMEWORK OF INTRA-ORGANISATIONAL KNOWLEDGE SHARING PRACTICES IN IMPLEMENTING BIM WITHIN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY SURIA MUSA*.

Teknologi, J., Imoudu Enegbuma, W., Uche Aliagha, G., Nita Ali, K., & Johor Bahru, U. (2015). *EFFECTS OF PERCEPTIONS ON BIM ADOPTION IN MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY* (Vol. 77).
www.jurnalteknologi.utm.my

Thirumal, S., Udawatta, N., Karunasena, G., & Al-Ameri, R. (2024). Barriers to Adopting Digital Technologies to Implement Circular Economy Practices in the Construction Industry: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 16(8), 3185. <https://doi.org/10.3390/su16083185>

Ullah, K., Lill, I., & Witt, E. (2019). An overview of BIM adoption in the construction industry: Benefits and barriers. In *Emerald Reach Proceedings Series* (Vol. 2, pp. 297–303). Emerald Group Holdings Ltd.
<https://doi.org/10.1108/S2516-285320190000002052>

Voland, N., Saad, M. M., & Eicker, U. (2022). Public Policy and Incentives for Socially Responsible New Business Models in Market-Driven Real Estate to Build Green Projects. *Sustainability*, 14(12), 7071.
<https://doi.org/10.3390/su14127071>

Wong, S. Y., & Gray, J. (2019). Barriers to implementing Building Information Modelling (BIM) in the Malaysian construction industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 495(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/495/1/012002>

Yahoo, M., & Othman, J. (2017). Employing a CGE model in analysing the environmental and economy-wide impacts of CO2 emission abatement policies in Malaysia. *Science of the Total Environment*, 584–585, 234–243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.164>

Yahya Al-Ashmori, Y., Bin Othman, I., Bin Mohamad, H., Rahmawati, Y., & Napiah, M. (2019). Establishing the Level of BIM implementation – A Case Study in Melaka, Malaysia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 601(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/601/1/012024>

Yang, R., Carre, A., Iyer-Raniga, U., Zou, P., Xu, N., & Ma, X. (2016). *A lifecycle cost-benefit analysis of low-carbon powerhouses in buildings in China* (pp. 1020–1029).
<https://doi.org/10.1061/9780784479827.103>

Yang, X., Kinoshita, T., Wang, Q., & Chen, Y. (2025). Systematic Literature Review and Meta-Analysis of Landscape-Scale Green Infrastructure Identification. *Sustainable Development*.
<https://doi.org/10.1002/sd.70011>

Yaoli, X. (2020). *DIGITAL TOOLS IN MALAYSIA AND CHINA TOWARDS CONSTRUCTION INDUSTRY REVOLUTION*.

Yong, Y. C., & Mustaffa, N. E. (2012). Analysis of factors critical to construction project success in Malaysia. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 19(5), 543–556.
<https://doi.org/10.1108/09699981211259612>

Yong, Y. C., & Mustaffa, N. E. (2013). Critical success factors for Malaysian construction projects: An empirical assessment. *Construction Management and Economics*, 31(9), 959–978.

<https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828843>

Zulkarnain, I., Najib, M., Nordin, R. M., Mohd Ahnuar, E., & Sukor, K. M. (2019). *Malaysian as the Component of Labour Force for Construction Industry in Malaysia*.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/2019>