Jurnal Kejuruteraan 38(7) 2026: 3607-3625
https://doi.org/10.17576/jkukm-2026-38(7)-34

Satu Tinjauan Halangan Pelaksanaan *'Design for Safety'* (DfS) dalam Sektor Pembinaan

(A Review of Implementation Barriers of Design for Safety (DfS) in the Construction Sector)

Akhtar Nurfitri Mat Zain[a], Noraini Hamzah[a*] & Afiffuddin Husairi Mat Jusoh@Hussain[b]

[a]*Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia*

[b]*Pusat Pengurusan Penjanaan UKM, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia*

[*]*Corresponding author: ainhamzah@ukm.edu.my*

Received 28 January 2026, Received in revised form 17 June 2026
Accepted 17 July 2026, Available online 30 October 2026

ABSTRAK

Industri pembinaan merekodkan kadar kemalangan pekerjaan yang tinggi walaupun pelbagai langkah keselamatan telah dilaksanakan, menuntut pendekatan pencegahan yang lebih proaktif seperti Design for Safety (DfS). Walaupun Malaysia telah memperkenalkan Garis Panduan OSHCIM 2017 dan mewartakan Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Kerja Pembinaan)(Reka Bentuk dan Pengurusan) 2024 yang mengangkat DfS kepada status mandatori, halangan pelaksanaannya masih belum diklasifikasikan secara bersepadu dalam kerangka teori yang sesuai. Kajian ini menyediakan penulisan naratif yang mengklasifikasikan dan menilai secara kritikal halangan pelaksanaan DfS mengikut Teori Penyebaran Inovasi (DOI). Analisis terhadap 66 artikel daripada pangkalan data Scopus dan Web of Science mengenal pasti lima (5) kluster halangan, iaitu kekurangan pengetahuan, pendidikan dan kompetensi; isu perundangan, polisi serta liabiliti; kelemahan komunikasi dan kerjasama pihak berkepentingan; budaya organisasi, kos dan kontrak; serta keterbatasan alat dan sokongan teknikal termasuk Building Information Modelling (BIM). Lima (5) dimensi DOI, iaitu kelebihan relatif, keserasian, kerumitan, kebolehujian, dan kebolehlihatan, digunakan untuk menganalisis mengapa halangan ini berpengaruh dalam konteks Malaysia pasca CDM 2024. Dapatan turut disahkan silang dengan kerangka kompetensi Prevention through Design (PtD) oleh Ibrahim et al. (2020), mengesahkan bahawa setiap kluster halangan sepadan dengan elemen kompetensi asas PtD. Secara keseluruhannya, kajian ini menegaskan bahawa kejayaan DfS di Malaysia bergantung kepada transformasi daripada budaya pematuhan minimum kepada pencegahan proaktif, disokong oleh latihan profesional yang berterusan, penguatkuasaan mandatori yang konsisten, dan sokongan teknologi digital yang menyeluruh.

Kata kunci: Design for Safety; Prevention through Design; Pembinaan; OSHCIM; CDM

ABSTRACT

The construction industry continues to record a high rate of occupational accidents despite sustained safety interventions, indicating that conventional reactive approaches are inadequate. A more proactive approach, such as Design for Safety (DfS), is therefore essential. Although Malaysia introduced the OSHCIM 2017 Guidelines and gazetted the Occupational Safety And Health (Construction Work)(Design and Management) Regulations 2024, which elevated DfS to mandatory status, implementation barriers remain insufficiently classified within a coherent theoretical framework. This study addresses this gap through a narrative synthesis that critically classifies and evaluates DfS barriers, reorganised within the Diffusion of Innovation (DOI) theory. An analysis of 66 articles from the Scopus and Web of Science databases identifies five (5) barrier clusters: deficiencies in knowledge, education and competency; legal, policy and liability issues; weaknesses in stakeholder communication and collaboration; organisational culture, cost and contractual constraints; and limitations in tools and technical support, including Building Information Modelling (BIM). The five (5) DOI attributes, namely relative advantage, compatibility, complexity, trialability and observability, are applied to explain why these barriers persist in the post-CDM

2024 Malaysian context. The findings are further cross-validated against the Prevention through Design (PtD) competency framework by Ibrahim et al. (2020), confirming that each barrier cluster corresponds to a core PtD competency element. Overall, this study asserts that DfS success in Malaysia requires a fundamental shift from a culture of minimum compliance to proactive prevention, supported by professional training, mandatory enforcement, and comprehensive digital technology support.

Keywords: Design for Safety; Prevention through Design; Construction; OSHCIM; CDM

PENGENALAN

Industri pembinaan merupakan pemacu utama pertumbuhan ekonomi sesebuah negara kerana peranannya dalam membangunkan infrastruktur, kemudahan awam dan perumahan. Namun, di sebalik sumbangan besar tersebut, industri ini sering dikaitkan dengan kadar kemalangan tempat kerja yang tinggi di peringkat global, termasuk juga di Malaysia (Hang & Sukadarin 2019). Statistik kemalangan bukan sekadar angka. Setiap insiden membawa implikasi yang besar kepada ekonomi, sosial, dan reputasi negara, dan yang lebih penting, kepada kehilangan nyawa yang sepatutnya boleh dicegah. Walaupun pelbagai langkah keselamatan telah dilaksanakan secara konsisten di peringkat pembinaan, angka kemalangan masih tidak menunjukkan penurunan yang signifikan. Keadaan ini menunjukkan bahawa pendekatan konvensional yang bertumpu kepada kawalan risiko semasa fasa pembinaan semata-mata sudah tidak mencukupi lagi.

Sehubungan itu, konsep *Design for Safety* (DfS) telah diperkenalkan sebagai pendekatan pencegahan yang lebih proaktif. DfS menekankan keperluan untuk mengenal pasti, menilai, dan mengurangkan risiko keselamatan sejak peringkat awal reka bentuk projek, dengan tujuan menghapuskan bahaya kepada pekerja binaan, pengguna bangunan, dan pekerja penyelenggaraan di masa hadapan (Samsudin et al. 2021). DfS juga merupakan satu pendekatan holistik yang bukan sahaja memfokuskan tanggungjawab kepada kontraktor dan pekerja tapak bina, tetapi juga turut mengkaitkan peranan pereka bentuk dan pemilik projek ataupun klien.

Pengalaman negara-negara maju membuktikan keberkesanan DfS apabila ia dilaksanakan secara mandatori. United Kingdom melalui *Construction (Design and Management) Regulations 2015* (CDM 2015) dan Singapura melalui *Workplace Safety and Health (Design for Safety) Regulations 2015* telah memperlihatkan penurunan ketara dalam insiden kemalangan tapak bina selepas penguatkuasaan dilaksanakan (Abueisheh et al. 2020).

Di United Kingdom, pengenalan *Construction (Design and Management) Regulations* pada tahun 1994 menunjukkan kesan yang ketara terhadap keselamatan pembinaan. Dalam tempoh enam tahun selepas penguatkuasaannya, kadar insiden maut bagi setiap 100,000 pekerja dilaporkan menurun kira-kira 40%, walaupun pada masa yang sama bilangan projek pembinaan meningkat lebih daripada satu setengah kali ganda (Gambatese et al. 2008; Shim et al. 2022).

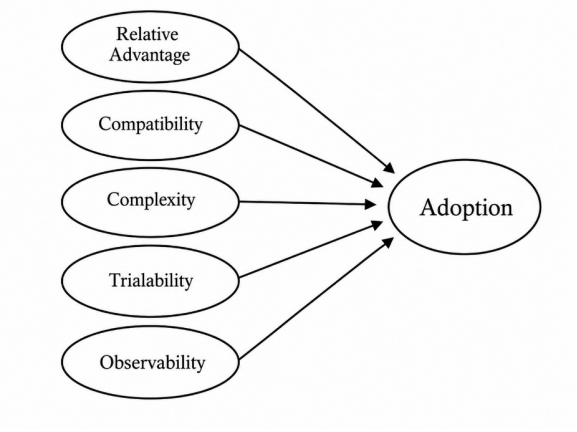
Angka ini bukan kecil, dan ia mencerminkan betapa besar pengaruh intervensi pada peringkat reka bentuk berbanding tindak balas reaktif semasa pembinaan.

Berikutan amalan baik ini, Malaysia melalui Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (JKKP) telah mula memperkenalkan prinsip *Prevention through Design* (PtD) yang sama falsafahnya seperti DfS dalam kerangka pembinaan negara bermula pada tahun 2017 melalui Garis Panduan OSHCIM. Walaupun istilah *Prevention through Design* (PtD), *Construction Design and Management* (CDM), dan *Design for Safety* (DfS) berbeza mengikut negara dan konteks perundangan, kesemuanya merujuk kepada falsafah asas yang sama, iaitu penerapan pertimbangan keselamatan pada peringkat reka bentuk. Bagi tujuan keseragaman, istilah DfS digunakan secara konsisten dalam penulisan ini, kecuali apabila merujuk secara khusus kepada konteks negara tertentu yang menggunakan istilah rasmi yang berbeza.

Garis Panduan OSHCIM yang telah hampir lapan tahun berlalu menunjukkan tahap pelaksanaannya masih belum mencapai potensi penuh disebabkan pelbagai cabaran (Christermaller et al. 2022). Pengenalan garis panduan sahaja jelas tidak mencukupi dengan sendirinya untuk mengubah amalan sedia ada industri yang telah lama bertapak. Persoalannya, mengapakah kajian tinjauan tentang halangan ini dilihat sebagai suatu keperluan yang mendesak pada masa ini? Sejak Szymberski (1997) memperkenalkan 'Lengkung Masa-Pengaruh Keselamatan' sebagai teori asas dalam bidang keselamatan pembinaan, pelbagai kajian terkemudian telah meneliti faktor-faktor yang mempengaruhi pelaksanaan DfS, termasuk dari aspek halangannya. Namun, kajian-kajian ini cenderung bersifat berpisah-pisah. Masih kurang kajian empirikal yang meneliti bagaimana faktor-faktor halangan ini saling berinteraksi dan mempengaruhi kadar penerimaan sesuatu inovasi dalam industri pembinaan (Wipulanusat et al. 2019). Inilah jurang pertama yang dikenal pasti, iaitu kekurangan kerangka teori yang menyusun halangan-halangan ini secara bersepadu dan bermakna, bukan sekadar menyenaraikannya sebagai senarai masalah yang terpisah.

Jurang kedua yang lebih khusus muncul daripada perubahan landskap perundangan di Malaysia. Pada 1 Jun 2024, kerajaan telah mewartakan Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Kerja Pembinaan) (Reka Bentuk dan Pengurusan) 2024 (CDM 2024) yang mengubah status DfS daripada sekadar amalan sukarela kepada keperluan mandatori. Perubahan ini menandakan satu titik peralihan penting. Namun, hampir keseluruhan kajian sedia ada tentang halangan DfS di Malaysia telah dijalankan dalam konteks pra-mandatori, iaitu sebelum CDM 2024 berkuat kuasa. Akibatnya, masih wujud kekosongan dalam kefahaman tentang bagaimana halangan-halangan yang telah dikenal pasti sebelum ini perlu ditafsir semula dalam persekitaran perundangan yang baharu ini. Pertindihan antara ketiga-tiga elemen ini, iaitu halangan pelaksanaan DfS, kerangka teori penerimaan inovasi, dan konteks dasar mandatori terkini, masih belum diberikan perhatian yang sewajarnya dalam literatur tempatan.

Berdasarkan jurang ini, kajian tinjauan ini bertujuan mengisi kekosongan pengetahuan tersebut dengan menyediakan satu penulisan naratif yang mengklasifikasikan dan menilai secara kritikal halangan-halangan pelaksanaan DfS, serta menyusun semula halangan tersebut mengikut kerangka teori Penyebaran Inovasi, DOI (Rogers, 2003). Pemilihan teori ini bukan secara sewenang-wenangnya. Aplikasi teori ini adalah sesuai kerana ia mampu menjelaskan mengapa sesetengah pihak cepat menerima DfS manakala yang lain menolak atau menangguhkan pelaksanaannya (Avilés 2020). Daripada sekadar mengenal pasti apa yang menghalang, kerangka ini membolehkan kajian meneroka mengapa halangan tersebut berpengaruh dan bagaimana ia mempengaruhi corak penerimaan inovasi keselamatan.



RAJAH 1. Teori Penyebaran Inovasi (Rogers 2003)

Sehubungan dengan itu, objektif utama kajian ini adalah untuk mengenal pasti faktor utama yang menghalang pelaksanaan DfS dalam industri pembinaan, mengklasifikasikan faktor halangan tersebut kepada tema-tema utama, dan seterusnya membincangkan implikasi dapatan dengan tumpuan khusus kepada konteks Malaysia pasca CDM 2024. Tema-tema utama yang dikenal pasti kemudiannya dipadankan dengan lima dimensi pengaruh dalam teori Penyebaran Inovasi, iaitu kelebihan relatif, keserasian, tahap kerumitan, kebolehujian, dan kebolehlihatan, sebagaimana yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Melalui pendekatan ini, kajian diharapkan dapat merungkai secara lebih terperinci bagaimana pelbagai halangan bertindak sebagai faktor tekanan terhadap pelaksanaan DfS, sekali gus menawarkan hala tuju baharu dalam penyelidikan dan amalan keselamatan industri pembinaan secara lebih holistik.

METODOLOGI

Kajian ini dilaksanakan melalui pendekatan ulasan naratif bersistematik bertujuan mengenal pasti, mengklasifikasi serta menganalisis secara kritikal tema-tema utama yang menjadi penghalang terhadap pelaksanaan DfS di dalam industri pembinaan. Pemilihan pendekatan ini bukan sekadar pilihan metodologi yang mudah, tetapi merupakan keputusan yang disokong oleh sifat literatur dalam bidang DfS itu sendiri. Halangan pelaksanaan DfS telah dikaji merentas pelbagai negara dengan reka bentuk kajian yang sangat berbeza-beza, meliputi kajian tinjauan, kajian kes, temu bual semi-berstruktur, dan kajian bibliometrik. Kepelbagaian ini menjadikan pendekatan meta-analisis kuantitatif tidak sesuai digunakan (Popay et al. 2006). Ulasan naratif pula membenarkan penilaian kritikal terhadap hujah, konteks, dan kedalaman dapatan setiap kajian yang merupakan keperluan asas apabila matlamatnya adalah untuk memahami fenomena sosioteknikal yang kompleks seperti pelaksanaan DfS (Baumeister & Leary 1997).

Carian literatur dijalankan menerusi dua pangkalan data elektronik utama iaitu *Scopus* dan *Web of Science*. Kedua-dua pangkalan data ini menjadi pilihan utama kerana keluasan liputan disiplin, integriti data bibliometrik, serta keupayaannya mengesan artikel berindeks tinggi dalam bidang kejuruteraan dan pengurusan pembinaan (Chadegani et al. 2013; Chellappa & Salve, 2020). *Scopus* secara khusus turut dipilih kerana kelebihannya dalam mengindeks artikel terkini dengan liputan yang lebih meluas berbanding pangkalan data lain dalam tempoh semasa (Li et al. 2010). Penetapan dua pangkalan data secara serentak dilakukan bagi meminimumkan risiko terlepas pandang artikel yang signifikan.

Strategi pencarian menggunakan fungsi *"title/ abstract/keyword"* dengan menggabungkan pelbagai terminologi yang lazim digunakan dalam literatur DfS :

TITLE-ABS-KEY ('design for safety' OR 'safety in design' OR 'prevention through design' OR 'safety through design' OR 'design for construction safety' OR 'construction design and management' OR 'construction safety' OR 'design risk management' OR 'safety by design' OR 'construction hazards prevention through design' OR 'DfS' OR 'PtD' OR 'CDM' AND 'OSHCIM')

Penggunaan pelbagai terminologi ini adalah disengajakan. Dalam literatur global, konsep yang sama dirujuk dengan istilah yang berbeza bergantung kepada negara dan konteks perundangan tempatan. *Prevention through Design* (PtD) lazim digunakan di Amerika Syarikat, *Safe Design* di Australia, *Construction Design and Management* (CDM) pula lebih dominan di United Kingdom, manakala *Design for Safety* (DfS) menjadi istilah yang lebih banyak digunakan di rantau Asia termasuk Malaysia dan Singapura. Penggabungan semua istilah ini memastikan tiada aliran penyelidikan utama yang tertinggal dalam carian awal. Carian dibataskan kepada tempoh tahun 2005 hingga 2025, dengan tetapan tambahan seperti jenis dokumen (artikel), jenis sumber (jurnal) dan bahasa penerbitan (bahasa Inggeris).

Tahun 2005 dipilih sebagai titik permulaan kerana kajian Gambatese et al. (2005) diterima luas sebagai antara penerbitan yang mula mengoperasikan konsep DfS secara empirikal dalam konteks industri pembinaan. Artikel persidangan dikecualikan sepenuhnya bukan atas alasan mudah, tetapi kerana maklumat persidangan sering bersifat awal dan tidak melalui proses *peer review* yang setara ketatnya dengan artikel jurnal berindeks (Ramos-Rodríguez & Ruíz-Navarro, 2004; Jin, R. et al. 2018).

KRITERIA INKLUSI DAN EKSKLUSI

Sebelum sebarang saringan dilaksanakan, kriteria inklusi dan eksklusi telah ditetapkan secara jelas untuk memandu proses pemilihan artikel dengan konsisten. Penetapan awal kriteria ini penting bagi mengelakkan pemilihan yang boleh menjejaskan kesahan dapatan ulasan (Popay et al. 2006). Jadual 1 merumuskan kriteria tersebut.

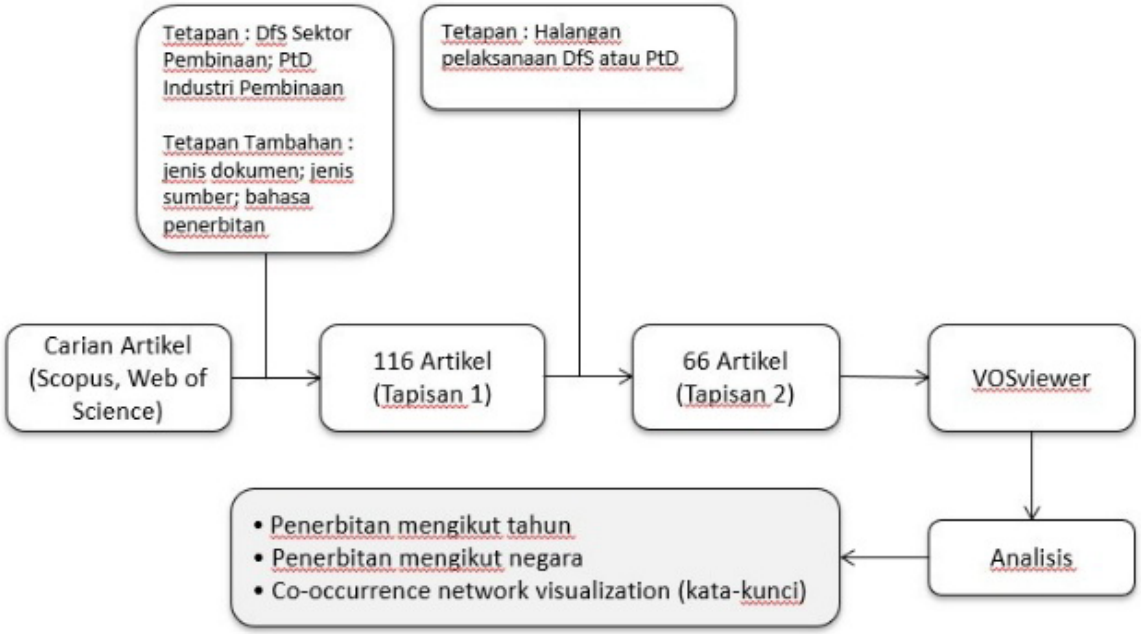
JADUAL 1. Kriteria Inklusi dan Eksklusi Pemilihan Artikel

Perkara	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Fokus kajian	Artikel yang membincangkan halangan atau faktor yang mempengaruhi pelaksanaan DfS atau PtD dalam sektor pembinaan.	Artikel yang menyebut DfS atau PtD secara umum, atau dalam konteks bukan industri pembinaan.
Kandungan	Artikel yang mengandungi dapatan berkaitan halangan pelaksanaan DfS atau PtD sama ada secara empirikal, konseptual, atau melalui ulasan literatur.	Artikel yang membincang kan keselamatan pembinaan secara umum tanpa merujuk kepada halangan DfS atau PtD secara khusus.
Jenis dokumen	Artikel jurnal berindeks *Scopus* atau *Web of Science.*	Artikel persidangan, bab buku, tesis, laporan teknikal, dan ulasan editorial.
Bahasa penerbitan	Bahasa Inggeris.	Artikel dalam bahasa selain bahasa Inggeris.
Tempoh penerbitan	Tahun 2005 hingga 2025.	Artikel diterbitkan sebelum tahun 2005.
Akses dokumen	Artikel teks penuh yang boleh diakses sepenuhnya.	Artikel yang hanya tersedia dalam bentuk abstrak sahaja.

PROSES SARINGAN DAN PEMILIHAN ARTIKEL

Hasil carian awal menghasilkan sebanyak 331 artikel. Angka ini pada mulanya kelihatan besar, tetapi dapat dijangkakan memandangkan kata kunci yang digunakan bersifat luas dan merangkumi terminologi yang turut digunakan dalam bidang lain seperti keselamatan awam, kesihatan persekitaran, dan kejuruteraan kimia. Proses saringan dilaksanakan dalam dua peringkat seperti yang diilustrasikan dalam Rajah 2.

Pada peringkat pertama, semakan tajuk dan abstrak dilaksanakan terhadap kesemua 331 artikel. Artikel yang tidak tertumpu kepada konteks sektor pembinaan, artikel pendua antara kedua-dua pangkalan data, serta artikel persidangan yang turut terindeks dalam pangkalan data berkenaan telah dikecualikan. Proses ini mengurangkan jumlah artikel kepada 116 artikel yang diperakui relevan.



RAJAH 2. Metodologi kajian

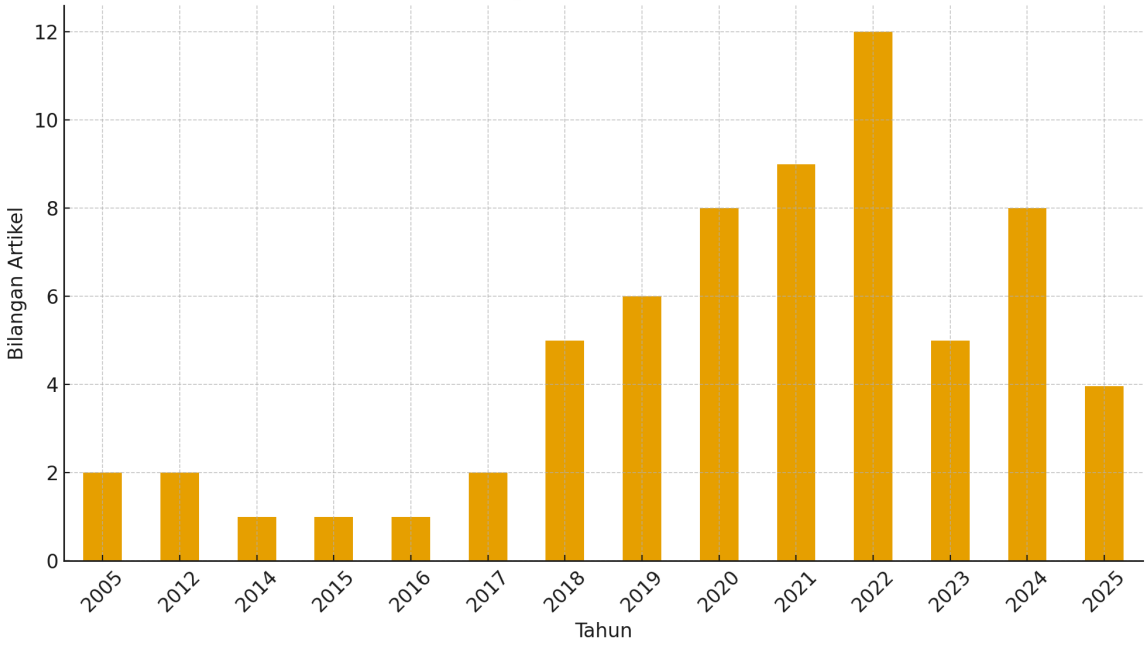
Pada peringkat kedua, semakan teks penuh dilaksanakan terhadap kesemua 116 artikel. Pada tahap ini, artikel yang secara zahirnya kelihatan relevan berdasarkan tajuk dan abstrak tetapi didapati tidak mengandungi perbincangan substantif tentang halangan pelaksanaan DfS atau PtD telah dikecualikan. Penilaian pada peringkat ini lebih memerlukan pembacaan penuh dan pertimbangan kritikal berbanding peringkat sebelumnya kerana ia melibatkan interpretasi kandungan, bukan sekadar penyaringan metadata. Akhirnya, sebanyak 66 artikel dikenal pasti sebagai rujukan utama untuk menganalisis tema halangan pelaksanaan DfS. Artikel yang selebihnya digunakan sebagai rujukan sokongan bagi memperkukuhkan analisis dalam ulasan ini.

Setelah pemilihan artikel selesai, analisis bibliometrik dilaksanakan menggunakan perisian VOSviewer (Van Eck & Waltman 2010) untuk memvisualisasikan rangkaian *co-occurrence keyword.* Teknik ini membolehkan kluster tema penyelidikan utama dikenal pasti secara visual berdasarkan kepadatan hubungan antara kata kunci merentas semua artikel yang dikaji (Van Eck & Waltman, 2014). Kluster-kluster yang terhasil kemudiannya dijadikan asas kepada sintesis naratif yang dijalankan. Setiap kluster dianalisis secara kritikal dan dihubungkan kepada dimensi teori Penyebaran Inovasi, DOI (Rogers, 2003) yang bertindak sebagai kerangka analisis bersepadu dalam kajian ini. Penggunaan DOI sebagai kerangka analisis adalah penting untuk memahami mengapa sesetengah halangan DfS bersifat lebih berpengaruh daripada yang lain dalam konteks penerimaan inovasi (DfS) dalam industri pembinaan.

DAPATAN KAJIAN

ANALISIS ARTIKEL MENGIKUT TAHUN

Rajah 3 menunjukkan trend penerbitan artikel berkaitan DfS atau PtD dari tahun ke tahun. Pada peringkat awal, sumbangan penerbitan masih rendah dengan hanya merekodkan n = 2 artikel (3.03%) masing-masing pada tahun 2005 dan tahun 2012. Seterusnya, antara tahun 2014 hingga 2017, bilangan penerbitan kekal rendah dengan hanya n = 1 artikel (1.52%) pada tahun 2014, 2015, dan 2016, serta n = 2 artikel (3.03%) pada tahun 2017. Tempoh ini mencerminkan tahap awal perkembanganwacana akademik yang masih belum mendapat perhatian meluas. Peningkatan yang ketara mula berlaku pada tahun 2018 dengan n = 5 artikel (7.58%), diikuti oleh peningkatan konsisten pada tahun 2019 dengan n = 6 artikel (9.09%) dan tahun 2020 dengan n = 8 artikel (12.12%).



RAJAH 3. Bilangan artikel mengikut tahun

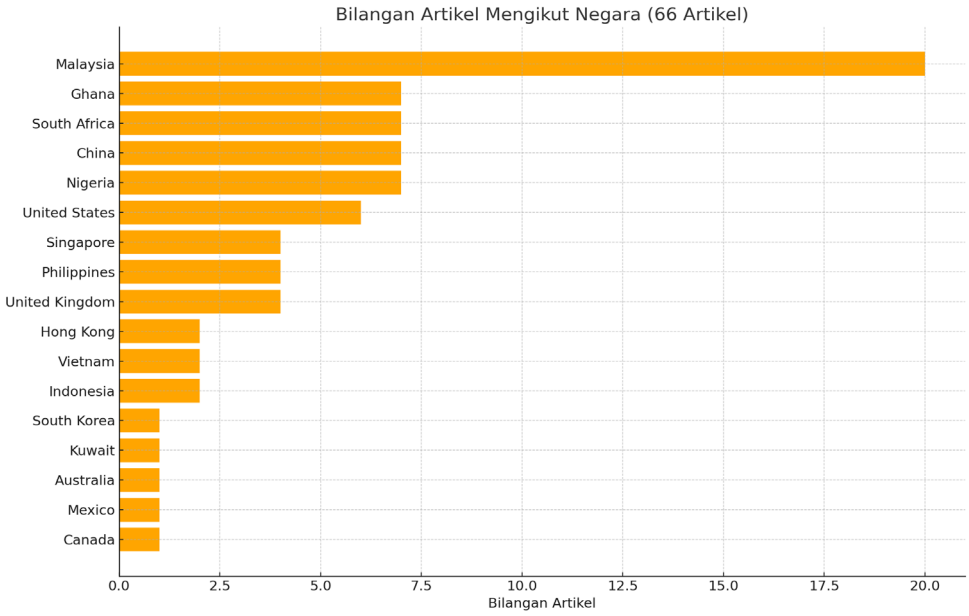
Puncak penerbitan dicapai pada tahun 2022 apabila jumlah artikel mencecah n = 12 artikel (18.18%), sekali gus menjadikan ianya tahun paling produktif sepanjang tempoh kajian. Tahun 2021 juga memperlihatkan pencapaian tinggi dengan n = 9 artikel (13.64%), menunjukkan momentum penyelidikan yang kukuh dalam tempoh tiga tahun berturut-turut. Selepas mencapai kemuncak pada tahun 2022, bilangan penerbitan menurun sedikit tetapi kekal signifikan. Tahun 2023 merekodkan sebanyak n = 5 artikel (7.58%) manakala tahun 2024 meningkat semula kepada n = 8 artikel (12.12%). Tahun terkini, 2025, menunjukkan sedikit penurunan dengan n = 4 artikel (6.06%). Walaupun terdapat turun naik, pola ini jelas memperlihatkan bahawa bidang ini telah beralih daripada fasa penerbitan yang perlahan sebelum 2017 kepada fasa perkembangan pesat antara 2018 hingga 2022, dan kini berada dalam fasa penstabilan dengan minat penyelidikan yang masih berterusan.

Secara keseluruhannya, trend ini membuktikan bahawa topik DfS semakin mendapat tempat dalam kalangan penyelidik akademik. Lonjakan ketara selepas 2018 mencerminkan peningkatan kesedaran global terhadap isu ini, manakala kesinambungan penerbitan selepas 2022menunjukkan bahawa bidang ini telah mula memasuki fasa matang sebagai satu domain penyelidikan yang relevan dan signifikan untuk diteruskan (Lezama-Nicolás et al. 2018; Singh et al. 2022).

ANALISIS ARTIKEL MENGIKUT NEGARA

Analisis bibliometrik terhadap 66 artikel telah memperlihatkan taburan penerbitan yang berbeza antara setiap negara. Rajah 4 menunjukkan Malaysia muncul sebagai penyumbang terbesar dengan 20 artikel yang menjadikannya sebagai rujukan utama dalam kajian DfS di rantau Asia Tenggara. Dominasi ini jelas dipacu oleh pengenalan Garis Panduan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan Industri Pembinaan (Pengurusan) 2017 (OSHCIM 2017) yang mendorong para penyelidik untuk menilai keberkesanan dasar, integrasi keselamatan ke dalam proses reka bentuk, serta penerapan silibus dalam pendidikan tinggi dan amalan industri tempatan. Selain Malaysia, empat negara lain iaitu Nigeria, Ghana, Afrika Selatan, dan China masing-masing mencatatkan 7 artikel. Pola ini menunjukkan wujudnya tumpuan seimbang terhadap isu keselamatan di kedua-dua benua Afrika dan Asia.

Kajian dari Afrika banyak memberi penekanan kepada halangan institusi, budaya kerja dan dasar keselamatan, manakala China pula menonjol melalui integrasi teknologi digital seperti BIM dan Kembar Digital *(Digital Twin)* dalam mengukuhkan pendekatan keselamatan berasaskan reka bentuk. Amerika Syarikat pula berada pada kedudukan seterusnya iaitu 6 artikel dengan didorong oleh tokoh penyelidik yang telah lama memperkenalkan konsep DfS.

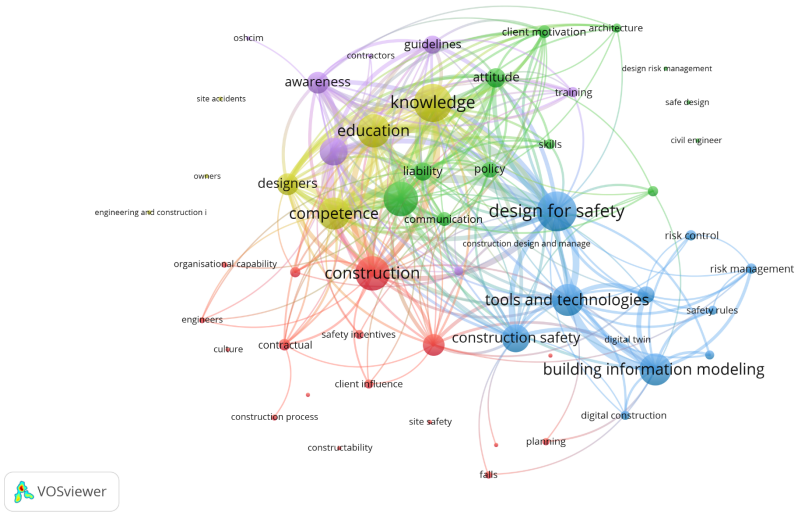


RAJAH 4. Bilangan artikel mengikut negara

Sementara itu, negara-negara seperti United Kingdom, Singapura, dan Filipina masing-masing menyumbang nilai sederhana dengan 4 artikel setiap satu yang kebanyakannya menekankan aspek peraturan, polisi, dan pembangunan profesional. Negara lain seperti Hong Kong, Vietnam, dan Indonesia masing-masing menyumbang 2 artikel manakala Korea Selatan, Kuwait, Australia, Mexico, dan Kanada hanya 1 artikel. Walaupun kecil dari segi bilangan, sumbangan ini tetap signifikan kerana menambah perspektif global terhadap pelaksanaan DfS. Secara keseluruhan, dapatan ini menunjukkan bahawa kajian DfS semakin meluas, dengan penglibatan negara membangun setanding negara maju dalam membentuk landskap penyelidikan keselamatan dalam sektor pembinaan.

ANALISIS TEMA KAJIAN

Dalam menentukan tema kajian, analisis bibliometrik telah dilakukan dengan menggunakan perisian VOSviewer yang dibangunkan oleh Van Eck & Waltman (2010). Perisian ini dipilih kerana keupayaannya memvisualisasikan rangkaian besar melalui representasi berasaskan jarak (Van Eck & Waltman, 2014) yang membolehkan hubungan antara kata kunci dan tema penyelidikan dipetakan dengan jelas. Rajah 5 menunjukkan peta rangkaian yang dihasilkan memberikan gambaran menyeluruh mengenai arah aliran penyelidikan DfS termasuk pengetahuan, pendidikan, teknologi, dasar serta peranan pihak berkepentingan.



RAJAH 5. Rangkaian visualisasi kata kunci *(co-occurrence : keywords)*

Daripada visualisasi tersebut, terdapat lima (5) warna berbeza yang menunjukkan lima (5) kluster utama yang telah dikenal pasti sebagai tema halangan signifikan dalam pelaksanaan DfS. Kluster pertama menekankan isu pengetahuan, pendidikan dan kompetensi yang menunjukkan bahawa masih wujud kekurangan kesedaran keselamatan di kalangan pereka bentuk dan kontraktor. Kluster kedua pula adalah berkaitan aspek perundangan, polisi dan liabiliti, yang sering menjadi batasan apabila amalan DfS tidak dimandatkan sepenuhnya. Kluster ketiga menekankan kepentingan komunikasi dan kerjasama pelbagai pihak berkepentingan, manakala kluster keempat merujuk kepada cabaran budaya organisasi, kos dan kontrak. Akhir sekali, kluster kelima yang menggariskan peranan alat dan sokongan teknikal seperti BIM dan teknologi digital bagi memperkukuh amalan keselamatan dalam reka bentuk.

Sintesis naratif daripada kelima-lima kluster ini bukan sahaja memberikan gambaran komprehensif tentang cabaran pelaksanaan DfS, malah turut sejajar dengan dimensi utama teori DOI yang menjadi asas teori pegangan kepada kajian ini. Justeru, analisis ini memberikan asas kukuh untuk kajian lanjutan serta memperkaya pembangunan ilmu akademik dalam bidang keselamatan pembinaan di Malaysia.

Walaupun kelima-lima kluster ini dibincangkan secara berasingan dalam bahagian berikut untuk tujuan kejelasan, ia tidak seharusnya difahami sebagai entiti yang terpisah. Setiap kluster pada hakikatnya mewakili manifestasi praktikal bagi satu atau lebih dimensi penerimaan inovasi sebagaimana yang digariskan dalam teori Penyebaran Inovasi (Rogers 2003). Kekurangan pengetahuan dan kompetensi, misalnya, secara langsung melemahkan persepsi industri terhadap kelebihan relatif DfS. Isu perundangan dan struktur kontrak pula mencerminkan masalah keserasian antara DfS dengan amalan sedia ada. Pembacaan setiap kluster dalam bahagian-bahagian seterusnya oleh itu sengaja dirangka untuk menyorot bagaimana halangan tersebut berhubung dengan dimensi DOI yang berkaitan, sebagai persediaan kepada sintesis teoritikal yang lebih menyeluruh dalam bahagian perbincangan.

PENGETAHUAN, PENDIDIKAN DAN KOMPETENSI

Beberapa kajian rentas negara yang dijalankan di Nigeria, Ghana, Kuwait dan Botswana menunjukkan bahawa tahap kesedaran terhadap pendekatan DfS dalam kalangan profesional reka bentuk adalah tinggi. Namun begitu, amalan pelaksanaannya yang sebenar masih berada pada tahap yang rendah (Manu et al. 2018; Sharar et al. 2022; Rantshilo et al. 2024). Ramai profesional dalam industri pembinaan tidak benar-benar faham akan manfaat jangka panjang implementasi DfS. Hal ini berpunca daripada persepsi umum kebanyakan profesional yang menganggap keselamatan hanyalah tanggungjawab pihak kontraktor atau pengurusan tapak pembinaan dan ianya bukan sesuatu yang harus dipertimbangkan pada peringkat awal reka bentuk. Oleh itu, kesedaran yang rendah ini sering kali mengakibatkan peningkatan risiko kemalangan dan kecederaan yang mana ianya boleh dielakkan sekiranya aspek keselamatan diambil kira dari awal lagi.

Kajian yang merentasi empat negara di Nigeria, Ghana, Kuwait dan Botswana ini juga turut melaporkan wujudnya minat terhadap latihan DfS dalam kalangan profesional namun tahap penglibatan dalam program latihan tersebut adalah rendah di keempat-empat negara berkenaan (Manu et al. 2018; Sharar et al. 2022; Rantshilo et al. 2024). Pihak industri juga dilihat kurang menyediakan insentif kewangan untuk tujuan latihan DfS kepada kalangan profesional (Christermaller et al. 2022).

Kajian Umeokafor et al. (2022) mendapati pengetahuan teknikal DfS dalam kalangan pereka bentuk adalah terhad, dengan pengetahuan sering kali cenderung ke arah keselamatan struktur sahaja. Ini menyebabkan ramai pereka bentuk tidak mempunyai kemahiran untuk mengintegrasikan aspek keselamatan ke dalam proses reka bentuk projek secara berkesan (López-Arquillos et al. 2015; Toh et al. 2017; Poghosyan et al. 2018). Perkaitan ini mungkin berpunca daripada ketiadaan program pendidikan formal tentang prinsip DfS dalam kurikulum kejuruteraan awam dan juga terdapat kekurangan ketara dalam subjek Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (KKP) dan pengurusan risiko dalam pendidikan tertiari (Ibrahim & Belayutham 2020). Keadaan ini menyebabkan para graduan bidang kejuruteraan awam kurang memahami kepentingan serta kaedah-kaedah praktikal untuk melaksanakan DfS secara efektif.

Dalam konteks jurusan seni bina pula, kurikulum yang ditawarkan di institusi pengajian tinggi lazimnya lebih menumpukan kepada pencapaian objektif reka bentuk estetik dan fungsi, tanpa memberi penekanan khusus terhadap prinsip DfS. Hal ini menyumbang kepada kekurangan pemahaman dalam kalangan pelajar seni bina berkaitan keperluan keselamatan semasa proses reka bentuk, sekaligus menjejaskan keupayaan mereka untuk mengintegrasikan aspek keselamatan secara efektif dalam penyelesaian reka bentuk sejak dari peringkat awal (Samsudin et al. 2021). Phan & Zhou (2023) turut menyatakan program dan latihan DfS dalam sistem Pendidikan di Vietnam adalah tidak mencukupi menyebabkan ramai arkitek di Vietnam tidak melaksanakan DfS walaupun mempunyai kesedaran dan sikap positif yang tinggi.

Dalam konteks geografi timur tengah seperti Palestin pula, hasil tinjauan menunjukkan kekurangan kursus DfS dalam kurikulum seni bina dan kejuruteraan menyumbang kepada pengetahuan DfS yang terhad di mana 70% responden tidak menerima sebarang pelajaran mengenai DfS dalam pendidikan formal (Abueisheh et al. 2020). Situasi yang sama juga turut dihadapi di Indonesia melalui kajian Machfudiyanto et al. (2023) yang menunjukkan bahawa meskipun kesedaran terhadap DfS adalah tinggi, namun pelaksanaannya masih rendah akibat kekurangan pendidikan formal dan latihan yang mencukupi. Oleh itu, dalam usaha menangani masalah ini, perlu adanya langkah proaktif oleh semua pihak berkepentingan termasuk institusi akademik, badan profesional, serta pihak berkuasa yang bertanggungjawab dalam bidang keselamatan dan kesihatan pekerjaan.

PERUNDANGAN, POLISI DAN LIABILITI

Komitmen kerajaan adalah merupakan perkara penting untuk mewujudkan budaya DfS dan suasana DfS di seluruh industri melalui undang-undang dan peraturan (Yue et al. 2020). Namun kebanyakan negara membangun mendapati ketiadaan komitmen yang kuat daripada pihak kerajaan untuk mewajibkan dan menguatkuasakan DfS merupakan salah satu faktor yang merencatkan perlaksanaan DfS (Machfudiyanto et al. 2023). Kajian oleh Gambatese et al. (2005) menyatakan Amerika Syarikat tidak menguatkuasakan DfS sebagai suatu keperluan mandatori. Ini bermakna penerimaan konsep tersebut bergantung kepada faedah yang diterima berbanding usaha dan sumber yang diperlukan untuk pelaksanaannya. Situasi ini serupa dengan keadaan di Malaysia sebelum tahun 2024, di mana Garis Panduan OSHCIM 2017 yang berasaskan konsep DfS hanyalah bersifat sukarela dan belum lagi dikuatkuasakan sebagai keperluan mandatori menyebabkan pelaksanaan DfS kurang mendapat perhatian serius dalam kalangan penggiat industri pembinaan (Ibrahim & Belayutham 2020; Christermaller et al. 2022).

Kajian di China juga turut menyatakan garis panduan umum yang bersifat sukarela sahaja ternyata tidak mencukupi untuk mengubah budaya keselamatan dalam industri pembinaan secara menyeluruh (Yue et al. 2020). Filipina dan Vietnam turut berhadapan cabaran sama seperti Malaysia, dengan ketiadaan dasar jelas yang menyebabkan pereka bentuk kurang menitikberatkan keselamatan dalam proses reka bentuk mereka (Labadan et al. 2022; Phan & Zhou, 2023). Kajian tempatan oleh Hussain et al. (2023) juga mengesahkan bahawa ketiadaan polisi mandatori menyebabkan tahap mempraktis DfS dalam projek sebenar adalah rendah. Di Kuwait pula, ketiadaan peraturan daripada badan kerajaan telah menyebabkan pelaksanaan DfS turut terbatas (Sharar et al. 2022). Walau bagaimanapun, perkara ini sebaliknya berbeza di United Kingdom, Australia, dan Singapura di mana telah mewajibkan pelaksanaan DfS melalui peraturan dan penguatkuasaan ketat, yang secara langsung menggalakkan amalan keselamatan yang lebih proaktif di peringkat reka bentuk (Ibrahim & Belayutham 2020).

Ketiadaan peruntukan yang jelas mengenai tanggungjawab keselamatan di peringkat reka bentuk boleh menyebabkan pendekatan keselamatan bersifat reaktif masih berleluasa, sekaligus mengekalkan tahap risiko kemalangan yang tinggi (Phan & Zhou, 2023). Dalam konteks yang lebih luas, isu berkaitan dasar nasional yang kurang jelas dan ketiadaan dasar khusus piawaian keselamatan dan kesihatan dalam projek pembinaan turut menyumbang kepada halangan pelaksanaan DfS. Meskipun beberapa negara maju telah melaksanakan DfS, namun keberkesanannya masih terbatas akibat kurangnya penguatkuasaan yang konsisten (Ogundipe et al. 2025). Ini menunjukkan bahawa ketiadaan tekanan institusi boleh menghalang kemajuan pembangunan DfS di peringkat nasional (Christermaller et al. 2022).

Selain itu juga, ketiadaan klausa kontrak yang jelas mengenai tanggungjawab DfS seperti mana berlaku di Amerika Syarikat boleh menyebabkan timbulnya rasa takut serta kebimbangan terhadap peningkatan liabiliti perundangan dalam kalangan pereka bentuk (Al-Bayati et al. 2024). Pereka bentuk juga menghadapi ketidakpastian mengenai pengubahsuaian skop, arahan perubahan, penyelesaian pertikaian, dan peningkatan tanggungjawab (Al-Bayati et al. 2024). Ketiadaan perlindungan insurans yang mencukupi juga turut menjadi kebimbangan utama di kalangan pereka bentuk (Toole 2005; Rantshilo et al. 2024; Labadan et al. 2022). Mereka mendakwa bahawa mengambil kira isu keselamatan di tempat kerja boleh meningkatkan tanggungjawab profesional mereka terhadap kecederaan (Toole 2005; Umeokafor et al. 2022). Pereka bentuk terutamanya arkitek enggan mengambil peranan tertentu seperti *Principal Designer* terutamanya dalam projek reka dan bina bagi mengelakkan potensi pendakwaan jika kontraktor membuat pengubahsuaian yang menjejaskan ciri-ciri keselamatan yang telah dibuat semasa reka bentuk awal (Ndekugri et al. 2023).

Penasihat undang-undang (legal counsel) juga sering menggalakkan pereka bentuk dan jurutera untuk tidak terlibat dalam sebarang usaha keselamatan kerana ketiadaan peraturan atau piawaian industri yang jelas (Gambatese et al. 2005). Perkara ini menghalang mereka daripada mengambil bahagian sepenuhnya dalam penilaian kebolehlaksanaan keselamatan (Al-Bayati et al. 2024). Walaupun konsep DfS secara teori tidak meletakkan liabiliti sedemikian kepada pereka bentuk, persepsi liabiliti menyebabkan mereka menuntut pampasan tambahan

(Labadan et al. 2022). Selain itu, kebimbangan mengenai ganjaran dan yuran profesional yang tidak setimpal dengan liabiliti keselamatan yang bertambah juga menjadi isu signifikan kepada pereka bentuk (Belayutham et al. 2019). Oleh itu, adalah penting untuk mewujudkan kerangka kerja undang-undang yang jelas dan piawaian industri yang mentakrifkan peranan dan tanggungjawab pereka bentuk apabila mengamalkan DfS lalu memberikan mereka keyakinan dan jaminan bahawa usaha mereka tidak akan mengakibatkan kepada kesan undang-undang.

KOMUNIKASI DAN KERJASAMA PIHAK BERKEPENTINGAN

Pihak berkepentingan seperti klien yang berperanan sebagai pemula dan pembiaya projek pembinaan dilihat mempunyai pengaruh paling besar dalam memacu pelaksanaan DfS (Poghosyan et al. 2018; Chellappa & Gunasekaran 2024; Christermaller et al. 2022; Aghimien 2024). Walau bagaimanapun, kajian di Nigeria oleh Umeokafor et al. (2022) menyatakan klien sering kali tidak menunjukkan komitmen yang jelas terhadap pelaksanaan DfS sejak fasa awal projek.

Selain itu juga, komunikasi dan kolaborasi awal antara pereka bentuk dan kontraktor juga terhalang disebabkan oleh kaedah perlaksanaan projek konvensional seperti Reka Bentuk-Bida-Bina (Design-Bid-Build) yang mempunyai pemisahan antara fasa reka bentuk dan pembinaan, lalu menyebabkan klien kurang terlibat dalam pertimbangan keselamatan tapak dan semasa peringkat reka bentuk (Yong & Mustaff, 2012). Perkara ini bertentangan dengan pendekatan kolaboratif yang diperlukan oleh DfS di mana klien, pereka bentuk, dan kontraktor perlu bekerjasama secara strategik sejak awal projek (Gambatese et al. 2005; Rohani et al. 2020; Ismail et al. 2021; Zulkifli et al. 2021; Christermaller et al. 2022; Ibrahim et al. 2022; Ndekugri et al. 2023; Hussain et al. 2023). Pendekatan perolehan kolaboratif seperti Reka Bentuk-Bina (Design-Build) atau *Integrated Project Delivery* (IPD) dilihat penting untuk mengatasi isu pepecahan ini dan memupuk integrasi (Christermaller et al. 2022). Semua pihak berkepentingan juga mesti terlibat secara aktif dalam proses membuat keputusan dan perancangan keselamatan bermula dari fasa perancangan projek untuk memastikan pengurangan risiko yang komprehensif (Gambatese et al. 2005; Hussain et al. 2023).

Komunikasi dan integrasi yang kurang di antara pereka bentuk dan pemegang taruh lain (termasuk penyelaras keselamatan dan kesihatan, kontraktor, dan klien) menyebabkan kesukaran dalam mengenal pasti, menganalisis, dan melaksanakan langkah-langkah keselamatan yang cekap pada awal kitaran hayat projek (Yue et al. 2020; Ismail et al. 2021; Ndekugri et al. 2023). Selain itu juga, kelemahan komunikasi dan penyelarasan antara badan kerajaan, badan kawal selia profesional serta pemain industri turut dikenal pasti sebagai penghalang utama dalam pelaksanaan DfS. Kelemahan penyelarasan antara agensi penguatkuasaan seperti JKKP, Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan Malaysia (CIDB), badan kawal selia profesional seperti Lembaga Jurutera Malaysia (LJM) serta pemain industri turut menjejaskan pelaksanaan DfS (Ismail et al. 2021). Jurang komunikasi dan perbezaan kefahaman tentang keperluan keselamatan menyebabkan langkah-langkah DfS sukar diselaraskan secara berkesan antara setiap pihak yang terlibat. Tambahan pula, kurangnya pemahaman dalam kalangan penguatkuasa tentang keperluan OSHCIM dan tanggungjawab setiap pihak menyebabkan proses pelaksanaan DfS semakin sukar untuk diterapkan secara efektif di Malaysia (Hussain et al. 2023).

Kajian juga menunjukkan bahawa kekurangan pemahaman klien tentang DfS dan faedah keseluruhannya secara langsung menyumbang kepada kurangnya galakan daripada klien dan pemilik untuk melaksanakan DfS (Umeokafor et al. 2022; Al-Bayati et al. 2024). Secara logiknya, mustahil bagi klien untuk menggalakkan sesuatu yang mereka sendiri tidak faham atau tidak nampak nilai utamanya. Dalam konteks Malaysia pula, motivasi klien dalam isu keselamatan sangat dipengaruhi oleh arahan dan kepimpinan mereka (Ibrahim & Belayutham, 2019). Kajian Goh dan Chua di Singapura menunjukkan bahawa motivasi klien merupakan kunci utama dalam meningkatkan pengetahuan, sikap, dan amalan DfS dalam kalangan pereka bentuk (Goh & Chua 2016; Poghosyan et al. 2018).

BUDAYA ORGANISASI, KOS DAN KONTRAK

Kejayaan pelaksanaan DfS bukan hanya bergantung pada perundangan semata-mata, tetapi juga turut terletak pada ekosistem projek termasuklah budaya organisasi dan sikap pemegang kewajipan. Dalam konteks DfS, kemampuan organisasi untuk melaksanakan reka bentuk yang selamat merupakan konstruk pelbagai dimensi yang merangkumi aspek tadbir urus dan sistem pengurusan (Adaku et al. 2021). Walaupun kesedaran tentang keperluan DfS semakin meningkat, kekurangan sokongan dan galakan daripada organisasi sendiri yang sering mengutamakan perkara lain membuktikan kelemahan dalam kemampuan organisasi dan tadbir urus dalaman terhadap aspek keselamatan (Belayutham et al. 2019).

Pemain industri pembinaan sering menunjukkan rintangan budaya yang ketara terhadap perubahan dan inovasi keselamatan dimana lebih cenderung memilih amalan tradisional berbanding langkah-langkah

keselamatan yang lebih canggih (Maliha et al. 2021). Kajian lepas juga menunjukkan pereka bentuk kadangkala lebih rela mengekalkan keindahan estetik atau penampilan struktur berbanding melakukan perubahan reka bentuk demi keselamatan. Sikap sebegini mencerminkan bahawa budaya di mana reka bentuk keselamatan tidak dianggap sebagai sebahagian daripada fungsi reka bentuk teras sesuatu bangunan (Abueisheh et al. 2020; Chellappa & Gunasekaran 2024).

Selain itu juga, budaya organisasi yang mengutamakan kos dan kemajuan projek berbanding aspek keselamatan menjadi satu lagi penghalang signifikan kepada pelaksanaan DfS. Isu kos ini bertindak sebagai penghalang yang mengehadkan kesediaan pereka bentuk untuk melaksanakan pertimbangan keselamatan secara menyeluruh dalam proses reka bentuk (Toole, 2005). Pereka bentuk sering menyuarakan kebimbangan mengenai peningkatan kos reka bentuk dan kelewatan jadual, serta batasan terhadap kreativiti reka bentuk. (Toole 2005; Al-Bayati et al. 2024; Aghimien 2024). Peningkatan kos terutamanya pada peringkat awal projek, sering tidak mendapat sokongan penuh daripada klien, yang mungkin enggan menanggung yuran reka bentuk tambahan (Umeokafor et al. 2022). Ini menunjukkan bahawa kekurangan pemahaman yang mencukupi mengenai faedah keseluruhan jangka panjang DfS menyumbang kepada keengganan klien menanggung kos awalan (Aghimien 2024).

Berdasarkan kajian oleh Belayutham et al. (2019), ketidaksediaan bajet khusus untuk insentif keselamatan menambahkan lagi kerumitan pelaksanaan DfS. Tanpa peruntukan khusus, inisiatif keselamatan dilihat sebagai tambahan kos yang membebankan, dan bukan sebagai pelaburan yang mampu mengurangkan kos keseluruhan melalui pencegahan kemalangan. Al-Bayati et al. (2024) menyatakan kebanyakan negara sering menganggap bajet keselamatan sebagai kos tambahan yang boleh dielakkan. Rata-rata syarikat pembinaan cenderung mengabaikan integrasi DfS bagi mengehadkan perbelanjaan projek, meskipun ia memberi kesan negatif kepada tahap keselamatan pekerja dalam jangka masa panjang.

Ogundipe et al. (2025) dalam kajiannya mendapati sistem tadbir urus firma pembinaan dan struktur kontrak projek sering kali menimbulkan konflik terhadap matlamat inisiatif keselamatan seperti DfS. Struktur kontrak dalam projek pembinaan yang memisahkan fasa reka bentuk dan pembinaan menyebabkan kurangnya perkongsian maklumat serta kerjasama antara pihak-pihak terlibat di setiap fasa kitaran hayat projek (Yuan et al. 2019). Keadaan ini juga turut menghalang pereka bentuk mempertimbangkan keselamatan tapak semasa fasa reka bentuk (Lu et al. 2021; Umeokafor et al. 2022). Disamping itu juga, ketiadaan dan kekurangan peruntukan klausa kontrak berkaitan aplikasi DfS dan rangka kerja pelaksanaan DfS juga merupakan halangan yang turut dikenal pasti (Al-Bayati et al. 2024).

Pemain industri di Amerika Syarikat percaya bahawa kolaborasi dalam DfS hanya akan berlaku selepas diwajibkan oleh undang-undang, bukannya satu inisiatif proaktif (Christermaller et al. 2022). Sifat industri pembinaan yang berpecah-belah juga boleh menjejaskan kolaborasi yang diperlukan untuk pelaksanaan amalan DfS (Ismail et al. 2021). Selain itu, hubungan kontrak dan sistem perolehan yang tidak menggalakkan kerjasama secara kolaboratif dan kolektif juga mengakibatkan pemain industri lebih tertumpu pada pematuhan minimum undang-undang berbanding inovasi keselamatan yang seharusnya bermula daripada fasa reka bentuk. Oleh yang demikian, ketiadaan mekanisme kolaboratif yang sewajarnya boleh mengakibatkan perpecahan rantaian bekalan yang mengganggu keberkesanan kerjasama, penyelarasan, dan komunikasi, sekali gus menghalang peranan utama pereka bentuk dalam menguruskan risiko keselamatan dan kesihatan (Ndekugri et al. 2023).

KETERSEDIAAN ALAT DAN SOKONGAN TEKNIKAL

Usaha mengintegrasikan keselamatan dan kesihatan pekerjaan pada peringkat reka bentuk sering terhalang oleh jurang yang ketara dalam ekosistem alat, panduan, dan piawaian industri yang tersedia (Toh et al. 2017; Yue et al. 2020). Keadaan ini menimbulkan satu dilema kritikal, di mana prinsip teoritikal DfS berdepan dengan realiti pelaksanaan praktikal yang terbatas. Walaupun kepentingan DfS telah jelas diketahui, namun kekurangan panduan, piawaian industri, dan alat yang spesifik terus menjadi penghalang kepada pelaksanaannya secara menyeluruh (Acheampong et al. 2024). Sebagai contoh, reka bentuk awal untuk keselamatan memerlukan garis panduan yang jelas dan alat sokongan seperti perisian *Building Information Modeling* (BIM) untuk visualisasi dan semakan keselamatan bagi memudahkan pereka bentuk merujuk dan menggunakannya (Gambatese et al. 2005). Oleh itu firma-firma pereka bentuk disyorkan untuk membangunkan alat bantu dan sistem bersepadu yang mesra pengguna untuk menyokong implementasi DfS secara efektif (Ibrahim et al. 2020).

Kajian Lu et al. (2021) memetik dapatan tinjauan di Amerika Syarikat yang menunjukkan bahawa hanya 3.2% arkitek dan 9.8% pereka bentuk struktur melaporkan bahawa firma mereka memiliki garis panduan formal untuk menyemak *Construction Hazard Prevention through Design* (CHPtD) (Tymvios et al. 2012; Lu et al. 2021). Angka yang amat rendah ini, walaupun diperoleh daripada konteks Amerika Syarikat, mencerminkan satu jurang antara kesedaran konsep dengan kewujudan infrastruktur

prosedur yang menyokong pelaksanaannya. Perbezaan ketara antara arkitek dan pereka bentuk struktur turut menunjukkan bahawa tahap kesediaan untuk melaksanakan DfS berbeza mengikut disiplin profesional.

Kekurangan alat automasi untuk tujuan implementasi keselamatan dan amalan DfS turut menambah kepada kesukaran pelaksanaannya (Ogundipe et al. 2025). Pendekatan keselamatan tradisional yang bergantung kepada operasi manual, pemerhatian, dan penilaian subjektif oleh pakar keselamatan adalah memakan masa, dan terdedah kepada kesilapan (Alaloul et al. 2023). Keadaan ini mewujudkan keperluan mendesak untuk alat yang lebih automatik dan efisien diperlukan bagi menyokong pereka bentuk (Xiahou et al. 2016).

Meskipun teknologi canggih seperti BIM berpotensi sebagai penyemak keselamatan automatik *(automated safety checking)*, namun ciri penggunaannya yang kompleks menyukarkan pereka bentuk yang kurang berpengalaman (Hoeft & Trask, 2022; Acheampong et al. 2024). *Automated Safety Checking* pula memerlukan integrasi melalui *plugin* atau platform luaran kerana fungsi ini lazimnya bukan terbina di dalam perisian asal BIM (Hire et al. 2024). Proses pemindahan data antara platform BIM yang berbeza juga sering menghadapi masalah interoperabiliti data dan berpotensi berlakunya kehilangan data (Yuan et al. 2019). Untuk membolehkan automasi berfungsi dengan berkesan, model BIM perlu dibangunkan dengan tepat dan terperinci lalu secara langsung menjadikan fasa reka bentuk memakan masa lebih lama (Hoeft & Trask, 2022).

Selain daripada itu, penerimaan teknologi BIM untuk KKP juga menghadapi cabaran berganda. Dari aspek organisasi, terdapat masalah kematangan teknologi yang rendah, kekurangan kemahiran teknikal dalam kalangan kakitangan reka bentuk dan pembinaan (Hoeft & Trask 2022). Penggunaan BIM juga memerlukan pelaburan kos awal yang besar dan perubahan organisasi yang ketara untuk menjadikan isu penyelesaian keselamatan kepada tahap yang menguntungkan (Salzano et al. 2024).

Selain itu, terdapat risiko bahawa jurutera mungkin menjadi kurang proaktif dalam pengurusan keselamatan jika mereka terlalu bergantung pada alat automatik untuk mengenal pasti keperluan ciri keselamatan (Hayne et al. 2014). Kajian turut mendapati bahawa keupayaan BIM untuk memenuhi peranan dan tanggungjawab pereka bentuk di bawah piawaian CDM masih terhad. Mzyece et al. (2019) menunjukkan bahawa BIM hanya mampu memenuhi 4 daripada keseluruhan peranan (18%) bagi pereka bentuk, dan 9 peranan (41%) bagi *principal designer* (Mzyece et al. 2019; Ibrahim et al. 2020). Perbezaan antara kedua-dua nilai ini menunjukkan bahawa keberkesanan BIM sebagai alat sokongan DfS bukan sahaja terbatas secara keseluruhan, malah berbeza mengikut tahap tanggungjawab profesional yang terlibat. Keterbatasan ini mengukuhkan hujah bahawa BIM, walaupun berpotensi besar, masih belum mampu menggantikan keseluruhan fungsi pereka bentuk dalam memenuhi keperluan perundangan CDM, sebaliknya hanya berperanan sebagai alat sokongan yang melengkapi pertimbangan profesional.

PERBINCANGAN

DFS DI MALAYSIA PASCA CDM 2024

Perlaksanaan DfS di Malaysia kini telah memasuki satu fasa baharu selepas penguatkuasaan Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Kerja Pembinaan) (Reka Bentuk dan Pengurusan) 2024 (CDM 2024) yang berkuat kuasa pada 1 Jun 2024. Peraturan ini meletakkan tanggungjawab yang lebih jelas kepada klien, pereka bentuk dan pihak kontraktor dalam memastikan aspek keselamatan dan kesihatan pekerjaan dipertimbangkan sejak awal kitaran hayat projek. Jika sebelum ini amalan DfS hanya berlandaskan Garis Panduan OSHCIM 2017 yang bersifat sukarela, CDM 2024 telah mengubah landskap tersebut kepada suatu bentuk peraturan mandatori (Abas et al. 2020). Perubahan ini menunjukkan komitmen kerajaan untuk mengangkat budaya pencegahan risiko di industri pembinaan ke tahap yang lebih sistematik.

Walaupun CDM 2024 menyediakan kerangka undang-undang yang lebih kukuh, realitinya pelaksanaan DfS di Malaysia berdepan dengan cabaran tersendiri. Salah satu isu paling ketara adalah berkaitan struktur kontrak JKR 203A yang menjadi rujukan utama dalam projek kerajaan. Di bawah klausa 22.0, semua kerja-kerja reka bentuk semasa fasa pembinaan seperti reka bentuk perancah, penyokong acuan konkrit (falsework), asas tapak kren menara dan struktur sementara (temporary structure) adalah di bawah tanggungjawab kontraktor (KKR 2010). Keadaan ini menyebabkan pereka bentuk asal daripada firma perunding tidak terlibat dalam membuat keputusan reka bentuk dan kekangan ini menimbulkan jurang tanggungjawab kerana reka bentuk struktur sementara lazimnya mempunyai tahap risiko keselamatan yang tinggi, tetapi tidak dipertimbangkan semasa peringkat reka bentuk awalan (Ibrahim et al. 2020; Ndekugri et al. 2023). Perkara ini menuntut kepada satu penyesuaian antara struktur kontrak sedia ada dengan tuntutan tanggungjawab pemegang kewajipan di dalam CDM 2024 bagi memastikan kesinambungan peranan pereka bentuk.

Di samping itu, kebimbangan berkaitan liabiliti tambahan telah menjadi isu besar dalam kalangan badan profesional, khususnya Lembaga Arkitek Malaysia (LAM). Pelaksanaan DfS menuntut arkitek mengambil kira aspek keselamatan pengguna dan pekerja pada peringkat

pengoperasian dan penyenggaraan sesuatu bangunan, namun perkara ini menimbulkan persoalan tentang sejauh mana tanggungjawab profesional mereka terhadap insiden yang mungkin berlaku semasa pembinaan, pengoperasian, dan penyenggaraan. Kebimbangan ini bukan lagi bersifat andaian. Menerusi surat pekeliling rasmi bertarikh 28 Februari 2025, LAM secara terbuka menyatakan bahawa peranan *Principal Construction Work Designer* (PCWD) di bawah CDM 2024 berada di luar skop perkhidmatan perundingan seni bina, kerana arkitek tidak dilatih secara khusus untuk peranan tersebut (LAM, 2025). Kebimbangan terhadap peningkatan liabiliti undang-undang menyebabkan penolakan pasif daripada pereka bentuk untuk melibatkan diri sepenuhnya dalam amalan DfS (Al-Bayati et al. 2024). Hal ini menggambarkan bahawa kejayaan CDM 2024 bukan sahaja bergantung kepada kewujudan peraturan, tetapi juga kepada jaminan undang-undang, kejelasan pembahagian peranan antara disiplin profesional, dan perlindungan insurans yang mampu mengurangkan kebimbangan pereka bentuk. Tanpa penyelesaian terhadap isu struktur yuran dan liabiliti ini, terdapat risiko bahawa peranan kritikal seperti PCWD akan terus dielakkan oleh pihak yang sepatutnya paling berkebolehan untuk memikulnya, sekali gus mewujudkan jurang pelaksanaan yang boleh menjejaskan keberkesanan keseluruhan DfS di Malaysia.

Satu lagi cabaran besar ialah budaya organisasi dan struktur industri pembinaan di Malaysia yang masih berorientasikan kos dan pematuhan minimum undang-undang. Klien khususnya sektor kerajaan lebih menekankan penyampaian projek mengikut bajet dan jadual berbanding penekanan terhadap integrasi keselamatan dalam reka bentuk. Walaupun CDM 2024 mewajibkan pereka bentuk menilai risiko sejak peringkat awal, namun tanpa sokongan dan komitmen klien, usaha ini berisiko menjadi sekadar pematuhan prosedur (Poghosyan et al. 2018). Justeru, perubahan budaya dan minda pemegang taruh, khususnya klien kerajaan adalah kunci utama dalam memastikan DfS dapat dilaksanakan dengan efektif.

Dari sudut teknikal, penggunaan BIM dan teknologi digital di Malaysia masih berada pada tahap kematangan yang berbeza-beza. Walaupun BIM diiktiraf sebagai platform utama untuk semakan keselamatan reka bentuk secara automatik, beberapa kekangan seperti kos pelaburan, kemahiran teknikal, serta isu interoperabiliti data telah mengekang keberkesanan penggunaannya. Namun, ini dijangka berubah dengan ketara berikutan penerbitan Pekeliling Perbendaharaan Malaysia PK 1.15 yang mewajibkan penggunaan BIM bagi projek kerajaan bernilai RM10 juta dan ke atas mulai 1 Julai 2025 (Perbendaharaan Malaysia, 2025). Pekeliling ini menggariskan objektif memperkukuh keberkesanan penyampaian projek, mengurangkan percanggahan reka bentuk, serta meningkatkan kolaborasi dan integriti data sepanjang kitar hayat projek. Penetapan bahawa BIM mesti digunakan sejak fasa perancangan sehingga pengurusan aset secara langsung membuka ruang untuk pengintegrasian semakan keselamatan reka bentuk, walaupun perlu ditegaskan bahawa pekeliling ini sendiri tidak secara langsung mensyaratkan fungsi semakan keselamatan automatik. Pendekatan ini sejajar dengan prinsip DfS kerana model digital yang dihasilkan mampu memberi gambaran risiko keselamatan sejak peringkat awal, seterusnya membantu pereka bentuk membuat keputusan yang lebih selamat. Oleh itu, potensi penjajaran antara mandat BIM dengan keperluan DfS masih bergantung pada bagaimana agensi pelaksana menterjemahkan keperluan teknikal pekeliling ini dalam amalan sebenar.

Selain itu, rangka Dasar Pembinaan Negara 2030 (NCP 2030) dengan jelas menyenaraikan satu daripada "9 Pilar IR 4.0" yang menyokong transformasi digital dalam sektor pembinaan termasuk penggunaan teknologi seperti Kembar Digital (Digital Twin). Melalui elemen Kembar Digital, model BIM tidak hanya berfungsi sebagai representasi statik reka bentuk, tetapi boleh dikembangkan kepada model dinamik yang memantau aktiviti pembinaan, struktur sementara, dan penggunaan aset secara masa sebenar. Ini secara langsung menyokong pelaksanaan DfS dengan membolehkan pengenalpastian dan mitigasi risiko keselamatan lebih awal dan berterusan sepanjang kitar hayat projek. Dengan penerapan Digital Berkembar, firma perunding reka bentuk dan pembinaan akan mempunyai akses kepada data masa nyata, simulasi keselamatan, serta analisis risiko yang berterusan yang membolehkan mereka membuat keputusan reka bentuk bukan hanya memenuhi keperluan fungsi dan estetika, tetapi juga menjamin aspek keselamatan pekerja, pengguna dan pemeliharaan struktur sepanjang kitaran hayat bangunan. Ini menjadikan pelaksanaan DfS lebih proaktif, realistik dan bersepadu.

Secara keseluruhannya, masih terdapat cabaran pelaksanaan DfS yang ketara dalam konteks Malaysia walaupun CDM 2024 telah meletakkan asas kukuh dalam menjadikannya sebagai mandatori. Kejayaan DfS memerlukan sokongan dasar yang konsisten, penglibatan sektor kerajaan, badan profesional, institusi akademik dan pemain industri. Transformasi ini harus dilihat sebagai satu proses berterusan untuk memastikan aspek keselamatan menjadi teras utama dalam reka bentuk dan pembangunan projek pembinaan.

MENGHUBUNGKAN DAPATAN DENGAN TEORI PENYEBARAN INOVASI (DOI)

Dapatan kajian telah mengenal pasti kelima-lima kluster halangan yang diperincikan satu persatu. Namun, mengenal

pasti halangan sahaja tidak memadai untuk menjelaskan mengapa DfS sukar diserap dalam industri pembinaan Malaysia walaupun kerangka perundangannya telah diperkukuh menerusi CDM 2024. Di sinilah teori Penyebaran Inovasi oleh Rogers (2003) menjadi kerangka yang bermanfaat. Teori ini menegaskan bahawa kadar penerimaan sesuatu inovasi ditentukan oleh lima ciri iaitu kelebihan relatif, keserasian, tahap kerumitan, kebolehujian, dan kebolehlihatan (Avilés 2020). Apabila kelima-lima kluster halangan tadi dibaca menerusi ciri ini, satu pola yang lebih bermakna mula kelihatan.

Pertimbangkan dimensi kelebihan relatif (relative advantage). Dimensi ini berkait rapat dengan kluster pengetahuan, pendidikan, dan kompetensi. Sesuatu inovasi hanya akan diterima jika ia dilihat lebih menguntungkan berbanding amalan sedia ada. Masalahnya, manfaat utama DfS iaitu pencegahan kemalangan bersifat tidak kelihatan. Kemalangan yang berjaya dielakkan tidak meninggalkan jejak yang dapat diukur, sedangkan kos dan usaha tambahan untuk melaksanakan DfS dapat dilihat. Tanpa pengetahuan asas yang kukuh, ramai pemain industri gagal melihat hubungan antara pelaburan reka bentuk yang selamat dengan penjimatan jangka panjang. Justeru, kekurangan kompetensi yang dibincangkan dalam kluster pertama sebenarnya bukan sekadar masalah latihan. Ia merupakan halangan kepada keupayaan industri untuk memahami nilai sebenar DfS, sekali gus menjejaskan persepsi kelebihan relatifnya.

Dimensi keserasian (compatibility) pula menemukan padanannya dalam kluster perundangan serta budaya organisasi, kos, dan kontrak. Inovasi lebih mudah diterima apabila ia selari dengan nilai, pengalaman, dan keperluan sedia ada penerimanya. Dalam konteks Malaysia, ketidakserasian ini terserlah pada dua peringkat yang berbeza. Pada peringkat struktur kontrak, klausa 22.0 dalam kontrak JKR 203A meletakkan tanggungjawab reka bentuk struktur sementara seperti perancah dan penyokong acuan konkrit kepada kontraktor, bukan pereka bentuk asal (KKR 2010). Pengaturan ini secara langsung bertentangan dengan semangat DfS yang menuntut pereka bentuk mempertimbangkan keselamatan sejak peringkat awal. Ketidakserasian yang lebih mendalam pula terserlah pada peringkat persepsi dan skop amalan profesional. Hal ini dapat dilihat dengan jelas menerusi pendirian rasmi LAM yang menasihatkan ahlinya supaya tidak memikul peranan PCWD di bawah CDM 2024, dengan alasan bahawa peranan tersebut berada di luar skop perkhidmatan perundingan seni bina dan arkitek tidak dilatih secara khusus untuknya (LAM, 2025). Pendirian ini merupakan satu petunjuk yang amat ketara dari sudut teori DOI. Apabila sebuah badan kawal selia profesional secara terbuka menyatakan bahawa peranan baharu di bawah sesuatu inovasi tidak serasi dengan bidang tugas tradisional ahlinya, ia mencerminkan bahawa inovasi tersebut dipersepsikan sebagai sesuatu yang asing dan tidak selari dengan amalan profesional sedia ada. Apabila amalan kontrak yang telah terlaksana selama puluhan tahun dan persepsi profesional yang telah lama terbentuk kedua-duanya bercanggah dengan prinsip asas DfS, tidak menghairankan jika penerimaannya menjadi perlahan. Inilah yang menjadikan dimensi keserasian sebagai antara halangan paling sukar diatasi, kerana ia berakar dalam struktur institusi dan persepsi profesional dimana ianya bukan sekadar sikap individu yang boleh diubah melalui latihan.

Kerumitan (complexity) merentasi kluster ketersediaan alat dan sokongan teknikal. DfS bukan sahaja memperkenalkan tanggungjawab dan persepsi liabiliti baharu kepada pereka bentuk, malah turut menggalakkan penggunaan teknologi seperti BIM dan Kembar Digital. Walaupun teknologi ini berpotensi besar untuk mengenal pasti bahaya sejak awal, ia menuntut kemahiran teknikal khusus, kos pelaburan yang tinggi, serta perubahan aliran kerja yang ketara. Bagi firma kecil dan sederhana yang mendominasi landskap industri pembinaan tempatan, kerumitan ini bukan sekadar halangan teknikal tetapi juga halangan psikologi. Kebanyakan firma kecil dan sederhana menghadapi kekangan dari segi kepakaran dan juga kewangan, menjadikan DfS kelihatan kompleks dan membebankan untuk diamalkan. Lebih rumit sesuatu inovasi dipersepsikan, lebih perlahan kadar penerimaannya. Hal ini menjelaskan mengapa walaupun keupayaan BIM diakui, namun penggunaannya untuk semakan keselamatan masih terbatas dalam amalan sebenar.

Dimensi kebolehujian (trialability) menyentuh persoalan yang jarang diberi perhatian dalam literatur tempatan. Inovasi lebih mudah diterima apabila organisasi berpeluang mencubanya secara berperingkat dalam skala kecil sebelum komitmen penuh. Namun, di Malaysia projek perintis yang melaksanakan DfS secara menyeluruh sejak peringkat reka bentuk masih amat terhad. Ketiadaan contoh rujukan yang boleh dipelajari ini mewujudkan satu kitaran yang sukar dipecahkan. Ketiadaan contoh rujukan ini menyebabkan pihak industri sukar menilai manfaat sebenar DfS, lalu menimbulkan keraguan dan keengganan untuk mengaplikasikannya secara menyeluruh. Industri enggan mencuba kerana tiada bukti kejayaan tempatan, sedangkan bukti kejayaan tempatan tidak akan wujud selagi tiada pihak yang sanggup mencuba terlebih dahulu. CDM 2024 berpotensi memecahkan kitaran ini dengan mewajibkan pelaksanaan, tetapi mandat perundangan semata-mata tidak menjamin pembelajaran yang terhasil daripada percubaan sukarela.

Akhir sekali, kebolehlihatan (observability) merangkumi cabaran yang membayangi keseluruhan usaha pelaksanaan DfS. Manfaat sesuatu inovasi lebih meyakinkan

apabila hasilnya dapat diperhatikan secara langsung. Malangnya, kejayaan DfS diukur menerusi sesuatu yang tidak berlaku, iaitu kemalangan yang berjaya dicegah. Berbeza dengan kos pembinaan atau kelewatan jadual yang dapat dilihat dengan segera dan menjadi tumpuan pengurusan projek manakala faedah DfS bersifat jangka panjang dan tersembunyi. Sifat tidak kelihatan inilah yang menjadikan DfS mudah diketepikan apabila tekanan kos dan masa meningkat. Apa yang tidak dapat dilihat, sering kali tidak dihargai.

Apabila kelima-lima dimensi ini diteliti secara bersepadu, satu kesimpulan dapat dibuat bahawa cabaran pelaksanaan DfS di Malaysia bukanlah masalah tunggal yang boleh diselesaikan dengan satu intervensi sahaja. Sebaliknya, ia merupakan masalah berlapis yang setiap lapisannya menjejaskan dimensi penerimaan yang berbeza. Peraturan CDM 2024 mungkin dapat menangani sebahagian isu keserasian dengan menjadikan DfS suatu kewajipan, tetapi peraturan ini tidak dengan sendirinya meningkatkan persepsi kelebihan relatif dalam kalangan mereka yang masih kurang pengetahuan, tidak mengurangkan kerumitan teknologi bagi firma yang kekurangan kapasiti, dan tidak menyelesaikan masalah kebolehlihatan yang membayangi seluruh konsep ini. Inilah sebabnya pendekatan mandatori, walaupun perlu, tidak akan mencukupi dengan sendirinya. Penerimaan sebenar DfS menuntut intervensi serentak yang menyasarkan kelima-lima dimensi penerimaan inovasi secara seimbang, dan bukan sekadar bergantung pada kuasa penguatkuasaan undang-undang.

PENGESAHAN SILANG DENGAN KERANGKA KOMPETENSI PTD

Kekukuhan klasifikasi tematik dalam kajian ini turut dapat disokong apabila dibandingkan dengan kerangka kompetensi pereka bentuk yang dibangunkan oleh Ibrahim et al. (2020). Kerangka tersebut menggariskan lima elemen utama yang diperlukan bagi pelaksanaan *Prevention through Design* (PtD) yang berkesan, iaitu pengurusan risiko dan prinsip pencegahan, pelantikan orang dan organisasi yang tepat, penyediaan maklumat dan arahan yang mencukupi, amalan 3C iaitu kerjasama, komunikasi dan penyelarasan, serta perundingan dan penglibatan pekerja. Yang menarik, kelima-lima elemen ini menemukan padanan yang hampir lengkap dengan lima kluster halangan yang dikenal pasti dalam kajian ini, tetapi dari sudut pandang yang bertentangan. Jika Ibrahim et al. (2020) menggariskan apa yang sepatutnya wujud, kluster halangan dalam kajian ini pula menjelaskan apa yang menghalang elemen tersebut daripada direalisasikan dalam amalan sebenar.

Padanan timbal balik ini memberikan satu pengesahan silang yang bermakna. Sebagai contoh, kluster pengetahuan dan kompetensi dalam kajian ini secara langsung mencerminkan kegagalan memenuhi elemen pertama Ibrahim et al. (2020), iaitu keupayaan menguruskan risiko dan menerapkan prinsip pencegahan. Begitu juga, kluster komunikasi dan kerjasama pihak berkepentingan dalam kajian ini berhubung rapat dengan elemen 3C yang mereka tekankan sebagai tulang belakang amalan PtD. Keselarian ini menunjukkan bahawa halangan yang dikenal pasti dalam kajian ini bukanlah dapatan yang terpencil, sebaliknya wujud dalam kerangka kompetensi yang telah diiktiraf dalam literatur terdahulu. Hal ini mengukuhkan kesahan klasifikasi yang dibangunkan dan memperkukuh hujah bahawa cabaran pelaksanaan DfS di Malaysia bersifat sistemik, kerana ia menyentuh setiap elemen asas yang diperlukan untuk kejayaan PtD.

KESIMPULAN

Kajian ini menegaskan bahawa pelaksanaan DfS di Malaysia masih berdepan cabaran walaupun CDM 2024 telah diperkenalkan. Lima (5) kluster utama yang dikenal pasti iaitu kekurangan pengetahuan, isu perundangan dan liabiliti, kelemahan komunikasi, budaya organisasi berorientasikan kos, serta keterbatasan sokongan teknikal telah membuktikan halangan ini bersifat sistemik dan saling berkait. Tanpa tindakan bersepadu, DfS berisiko dilaksanakan hanya pada tahap formalistik tanpa benar-benar mengurangkan kemalangan.

Dalam konteks Malaysia, CDM 2024 dan Pekeliling Perbendaharaan PK 1.15 menyediakan asas penting untuk mengarusperdanakan amalan DfS. Namun, kejayaannya bergantung pada sejauh mana semua pihak berkepentingan sanggup berubah daripada budaya pematuhan minimum kepada budaya pencegahan proaktif. Kerajaan perlu memperkukuh penguatkuasaan, menyediakan garis panduan teknikal yang lebih terperinci, serta memberi insentif kepada organisasi yang berjaya melaksanakan DfS dengan berkesan. Pemain industri pula harus menyesuaikan kontrak dan struktur operasi agar lebih menyokong kerjasama awal antara klien, pereka bentuk dan kontraktor.

Selain itu, aspek pendidikan dan latihan perlu diberi perhatian serius. Kurikulum kejuruteraan dan seni bina di peringkat pengajian tertiari wajar memperkenalkan DfS sebagai komponen teras, manakala latihan berterusan untuk profesional industri harus diperkukuh bagi memastikan kompetensi individu meningkat selari dengan keperluan semasa. Secara keseluruhannya, DfS perlu dilihat bukan sekadar keperluan undang-undang, tetapi sebagai strategi pencegahan jangka panjang yang mampu menyelamatkan

nyawa, mengurangkan kos kemalangan, serta meningkatkan daya saing industri pembinaan Malaysia di peringkat global.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia di atas sokongan menjayakan kajian ini.

PERISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

Abas, N.H., Abd Rahman, R., Mohammad, H.A. & Rahmat, M.H. 2020. Designer's confidence and attitude towards designing-for-construction-safety (DfCS) implementation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 713(1): 012045. https://doi.org/10.1088/1757-899X/713/1/012045

Abueisheh, Q., Manu, P., Mahamadu, A. & Cheung, C. 2020. Design for safety implementation among design professionals in construction: The context of Palestine. *Safety Science* 128: 104742. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104742

Acheampong, A., Adjei, E.K., Adade-Boateng, A.O., Kissi, E., Manu, P. & Atibila, D.W. 2024. Exploring the multidimensional challenges in integrating Design for Safety (DfS) in the Ghanaian construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*.

Adaku, E., Ankrah, N. & Ndekugri, I. 2021. Design for occupational safety and health: A theoretical framework for organisational capability. *Safety Science* 133: 105005. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.105005

Aghimien, D. 2024. Proactive prevention: Embedding safety into South African construction design. *Frontiers in Engineering and Built Environment*.

Alaloul, W.S., Qureshi, A.H., En, Y.P., Khan, S., Musarat, M.A., Alzubi, K.M. & Salaheen, M.A. 2023. Survey evaluation of Building Information Modelling (BIM) for health and safety in building construction projects in Malaysia. *Sustainability* 15(6): 4899. https://doi.org/10.3390/su15064899

Al-Bayati, A.J., Bazzi, K., Karakhan, A.A. & Jensen, E. 2024. Clearing the path: Overcoming barriers to Prevention through Design (PtD) utilization in the US construction industry. *Safety* 10(3): 74.

Avilés, J.A.G. 2020. Diffusion of innovation. Dlm. *The International Encyclopedia of Media Psychology*. Wiley.

Baumeister, R.F. & Leary, M.R. 1997. Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology* 1(3): 311–320. https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.3.311

Belayutham, S., Ibrahim, K.I., Hussain, A., Gorse, C. & Neilson, C.J. 2019. Shaping the future of Prevention through Design (PtD) practice in the Malaysian construction industry.

Chadegani, A.A., Salehi, H., Yunus, M.M., Farhadi, H., Fooladi, M., Farhadi, M. & Ebrahim, N.A. 2013. A comparison between two main academic literature collections: Web of Science and Scopus databases. *Asian Social Science* 9(5): 18–26. https://doi.org/10.5539/ass.v9n5p18

Chellappa, V. & Gunasekaran, A.L. 2024. Drivers for implementing Design for Safety in construction: A review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Management, Procurement and Law* 177(1): 39–49. https://doi.org/10.1680/jmapl.22.00029

Chellappa, V. & Salve, U.R. 2020. A scientometric analysis and review of fall from height research in construction. *Construction Economics and Building* 20(1). https://doi.org/10.5130/AJCEB.v20i1.6802

Christermaller, F., Che Ibrahim, C.K.I., Manu, P., Belayutham, S., Mahamadu, A.-M. & Yunusa-Kaltungo, A. 2022. Implementation of Design for Safety (DfS) in construction in developing countries: A study of designers in Malaysia. *Construction Economics and Building* 22(2): 1–26. https://doi.org/10.5130/AJCEB.v22i2.8105

DOSH. 2017. *Guidelines on Occupational Safety and Health in Construction Industry (Management) 2017*. Putrajaya: Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan.

DOSH. 2020. *Guidelines on Occupational Safety and Health in Construction Industry (Management) 2020*. Putrajaya: Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan.

DOSH. 2024. *Peraturan-Peraturan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan (Kerja Pembinaan) (Reka Bentuk dan Pengurusan) 2024 [P.U. (A) 147]*. Putrajaya: Jabatan Keselamatan dan Kesihatan Pekerjaan.

van Eck, N.J. & Waltman, L. 2010. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics* 84(2): 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

van Eck, N.J. & Waltman, L. 2014. Visualizing bibliometric networks. Dlm. *Measuring Scholarly Impact: Methods and Practice*, disunting oleh Y. Ding, R. Rousseau & D. Wolfram, 285–320. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_13

Gambatese, J.A., Behm, M. & Hinze, J. 2005. Viability of designing for construction worker safety. *Journal of Construction Engineering and Management* 131(9): 1029–1036.

Gambatese, J.A., Behm, M. & Rajendran, S. 2008. Design's role in construction accident causality and prevention: Perspectives from an expert panel. *Safety Science* 46(4): 675–691.

Goh, Y.M. & Chua, S. 2016. Knowledge, attitude and practices for Design for Safety: A study on civil and structural engineers. *Accident Analysis & Prevention* 93: 260–266.

Hang, L.P. & Sukadarin, E.H. 2019. Development of working at height management system based on legislation in Malaysia. *Advances in Intelligent Systems and Computing*: 226–.

Hayne, G., Kumar, B. & Hare, B. 2014. The development of a framework for a Design for Safety BIM tool. Dlm. *Computing in Civil and Building Engineering 2014*, 49–.

Hire, S., Sandbhor, S. & Ruikar, K. 2024. A conceptual framework for BIM-based site safety practice. *Buildings* 14(1): 272. https://doi.org/10.3390/buildings14010272

Hoeft, M. & Trask, C. 2022. Safety built right in: Exploring the occupational health and safety potential of BIM-based platforms throughout the building lifecycle. *Sustainability* 14(10): 6104.

Hussain, A., Ibrahim, C.K.I.C., Belayutham, S., Kidam, K. & Ali, N.M. 2023. Occupational safety and health regulator readiness in the design phase: Views from Malaysia. *AIP Conference Proceedings* 2947: 070013.

Ibrahim, C.K.I.C. & Belayutham, S. 2020. A knowledge, attitude and practices (KAP) study on Prevention through Design: A dynamic insight into civil and structural engineers in Malaysia. *Architectural Engineering and Design Management* 16(2): 131–149. https://doi.org/10.1080/17452007.2019.1628001

Ibrahim, C.K.I.C., Belayutham, S., Manu, P. & Mahamadu, A. 2020. Key attributes of designers' competency for Prevention through Design (PtD) practices in construction: A review. *Engineering, Construction and Architectural Management* 28(4): 908–933. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2020-0252

Ibrahim, C.K.I.C., Manu, P., Belayutham, S., Mahamadu, A. & Antwi-Afari, M.F. 2022. Design for Safety (DfS) practice in construction engineering and management research: A review of current trends and future directions. *Journal of Building Engineering* 52: 104352.

Ismail, S., Ibrahim, C.K.I.C., Belayutham, S. & Mohammad, M.Z. 2021. Analysis of attributes critical to the designer's Prevention through Design competence in construction: The case of Malaysia. *Architectural Engineering and Design Management* 18(3): 325–343. https://doi.org/10.1080/17452007.2021.1910926

Jin, R., Zou, P.X.W., Piroozfar, P., Wood, H., Yang, Y., Yan, L. & Han, Y. 2019. A science mapping approach-based review of construction safety research. *Safety Science* 113: 285–297.

KKR. 2010. *Standard Form of Contract PWD Form 203A (Rev. 1/2010)*. Kuala Lumpur: Kementerian Kerja Raya Malaysia.

KKR. 2021. *Dasar Pembinaan Negara 2030 (NCP 2030)*. Kuala Lumpur: Kementerian Kerja Raya Malaysia.

Labadan, R., Panuwatwanich, K. & Takahashi, S. 2022. Awareness of the Prevention through Design (PtD) concept among design engineers in the Philippines. *Engineering Management in Production and Services* 14(1): 78–.

LAM. 2025. *The Architect and the Role of Principal Construction Work Designer (PCWD)*. Surat Pekeliling Bil. (12) dlm. LAM 87 Jld. 10, 28 Februari 2025. Kuala Lumpur: Lembaga Arkitek Malaysia.

Lezama-Nicolás, R., Rodríguez-Salvador, M., Río-Belver, R.M. & Bildosola, I. 2018. A bibliometric method for assessing technological maturity: The case of additive manufacturing. *Scientometrics* 117(3): 1425–1452.

Li, J., Burnham, J.F., Lemley, T., Britton, R.M. & Ladnier, D. 2010. Citation analysis: Comparison of Web of Science, Scopus, SciFinder, and Google Scholar.

López-Arquillos, A., Rubio-Romero, J.C. & Martínez-Aires, M.D. 2015. Prevention through Design (PtD): The importance of the concept in engineering and architecture university courses. *Safety Science* 73: 8–14. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.006

Lu, Y., Gong, P., Tang, Y., Sun, S. & Li, Q. 2021. BIM-integrated construction safety risk assessment at the design stage of building projects. *Automation in Construction* 124: 103553.

Machfudiyanto, R.A., Kim, S., Latief, Y., Rachmawati, T.S.N. & Laksono, N.B. 2023. Analysis of Design-for-Safety implementation factors in the Indonesian construction industry: A two-staged SEM-artificial neural network approach. *Heliyon* 9(11): e21273. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21273

Maliha, M.N., Aisheh, Y.I.A., Tayeh, B.A. & Almalki, A. 2021. Safety barriers identification, classification, and ways to improve safety performance in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry: Review study. *Sustainability* 13(6): 3316.

Manu, P., Poghosyan, A., Mshelia, I.M., Iwo, S.T., Mahamadu, A. & Dziekoński, K. 2019. Design for occupational safety and health of workers in construction in developing countries: A study of architects in Nigeria. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 25(1): 99–109.

Mzyece, D., Ndekugri, I. & Ankrah, N. 2019. Building information modelling (BIM) and the CDM

regulations interoperability framework. *Engineering, Construction and Architectural Management* 26(11): 2682–2700.

Ndekugri, I., Ankrah, N. & Adaku, E. 2023. Performance barriers for coordination of health and safety during the preconstruction phase of construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management* 149(7). https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-12073

Ogundipe, K.E., Aigbavboa, C. & Ogunbayo, B.F. 2025. A mixed method approach to validating barriers to safety incentives implementation in the Nigerian construction industry. *Frontiers in Built Environment* 11.

Perbendaharaan Malaysia. 2025. *Pekeliling Perbendaharaan Malaysia PK 1.15: Pelaksanaan Building Information Modelling (BIM)*. Putrajaya: Kementerian Kewangan Malaysia.

Phan, P.T.C. & Zhou, Z. 2023. Implementation of Design for Construction Safety (DfS) in the Vietnam context: Awareness, attitude and practices. *Journal of Engineering, Design and Technology*.

Poghosyan, A., Manu, P., Mahdjoubi, L., Gibb, A., Behm, M. & Mahamadu, A. 2018. Design for safety implementation factors: A literature review. *Journal of Engineering, Design and Technology* 16(5): 783–797.

Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L. & Rodgers, M. 2006. *Guidance on the Conduct of Narrative Synthesis in Systematic Reviews: A Product from the ESRC Methods Programme*. Lancaster: Lancaster University.

Ramos-Rodríguez, A.R. & Ruíz-Navarro, J. 2004. Changes in the intellectual structure of strategic management research: A bibliometric study of the *Strategic Management Journal*, 1980–2000. *Strategic Management Journal* 25(10): 981–1004.

Rantshilo, K., Agyekum, K., Manu, P., Mahamadu, A., Cheung, C. & Yunusa-Kaltungo, A. 2024. Design for safety among design professionals in the Botswana construction industry. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Management, Procurement and Law* 177(1): 27–38. https://doi.org/10.1680/jmapl.22.00008

Rogers, E.M. 2003. *Diffusion of Innovations*. Edisi ke-5. New York: Free Press.

Rohani, J.M., Kidam, K., Shahlan, S.S., Kamarden, H., Ayak, A.S.A., Zuki, A.A.M., Ismail, M., Azam Shah, R.N.A.R., Ali, K.N., Ariffin, H.L.T., Mohd, N.I., Mustaffa, N.E., Abdullah, S., Ali, N.M. & Rahman, M.F.A. 2020. *OSHCIM Implementation Readiness from the Perspective of Designers and Contractors in Malaysia*.

Salzano, A., Cascone, S., Zitiello, E.P. & Nicolella, M. 2024. Construction safety and efficiency: Integrating Building Information Modeling into risk management and project execution. *Sustainability* 16(10): 4094.

Samsudin, N.S., Abidin, M.N.Z., Mohammad, M.Z., Yusof, A.F. & Salehan, M.H.M. 2021. Prevention through Design: Architecture student cognizance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 738(1): 012070.

Sharar, M., Agyekum, K., Manu, P., Ibrahim, C.K.I.C., Mahamadu, A., Antwi-Afari, M.F. & Danso, F.O. 2024. Design for safety in construction: A study of design professionals in Kuwait. *International Journal of Building Pathology and Adaptation* 42(4): 596–617. https://doi.org/10.1108/IJBPA-01-2022-0015

Shim, Y., Jeong, J., Jeong, J., Lee, J. & Kim, Y. 2022. Comparative analysis of the national fatality rate in construction industry using time-series approach and equivalent evaluation conditions. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19(4): 2312.

Singh, C.K., Barme, E., Ward, R., Tupikina, L. & Santolini, M. 2022. Quantifying the rise and fall of scientific fields. *PLoS ONE* 17(6).

Szymberski, R. 1997. Construction project safety planning. *TAPPI Journal* 80(11): 69–74.

Toh, Y.Z., Goh, Y.M. & Guo, B.H.W. 2017. Knowledge, attitude, and practice of Design for Safety: Multiple stakeholders in the Singapore construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management* 143(5): 04016131. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001279

Toole, T.M. 2005. Increasing engineers' role in construction safety: Opportunities and barriers. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 131(3): 199–207.

Tymvios, N., Gambatese, J. & Sillars, D. 2012. Designer, contractor, and owner views on the topic of design for construction worker safety. Dlm. *Construction Research Congress 2012*, 341–355. American Society of Civil Engineers.

Umeokafor, N., Windapo, A., Manu, P., Diugwu, I. & Haroglu, H. 2022. Critical barriers to Prevention through Design in construction in Nigeria: A qualitative inquiry. *Engineering, Construction and Architectural Management*.

Wipulanusat, W., Panuwatwanich, K., Stewart, R.A. & Sunkpho, J. 2019. Innovation diffusion process in the Australian construction industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 652(1): 012001.

Xiahou, X., Dib, H., Yuan, J., Tang, Y. & Li, Q. 2016. Design for Safety (DfS) and Building Information Modeling (BIM): A review. Dlm. *ICCREM 2016*, 69–.

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

Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z. & Li, Q. 2019. Accident Prevention through Design (PtD): Integration of Building Information Modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction* 102: 86–104. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015

Yue, Y., Xiahou, X. & Li, Q. 2020. Critical factors of promoting Design for Safety in China's subway engineering industry. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(10): 3373.

Zulkifli, A.R., Ibrahim, C.K.I.C. & Belayutham, S. 2021. The integration of Building Information Modelling (BIM) and Prevention through Design (PtD) towards safety in construction: A review. *Lecture Notes in Civil Engineering* 271.