

Pembangunan Kerangka Pelaksanaan Prinsip Rekabentuk Untuk Pembuatan Dan Pemasangan Ke Arah Pembinaan Secara Digital dan Mampan di Malaysia

(Development of Application Framework for Design for Manufacturing and Assembly Towards Digital and Sustainable Construction in Malaysia)

Mohammed Izrai Abd Razak^a, Muhamad Azry Khoiry^{a*}, Wan Hamidon Wan Badaruzzaman^a, Afifuddin Husairi Hussain^b
& Maria Zura Mohd Zain^c

^aJabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

^bPusat Pengajian Citra, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

^cInstitut Penyelidikan Pembinaan Malaysia, Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan Malaysia, 50480 Kuala Lumpur, Malaysia

* Corresponding author: azrykhoiry@ukm.edu.my

Received 8 April 2022, Received in revised form 8 August 2022

Accepted 9 September 2022, Available online 30 March 2023

ABSTRACT

Industrialized building systems (IBS) have long been applied in Malaysia to increase construction productivity and reduced the dependency on unskilled foreign labourers. However, projects using IBS still face issues related to time and cost overrun, poor quality, and the dependence on unskilled foreign labours. This is mainly caused by less collaboration and low adoption of technology in project implementation. To enhance the performance of the construction industry, design for manufacturing and assembly (DfMA) principles were introduced. To add value to the DfMA principles, it is paired with the building information system (BIM) which would help in creating a sustainable digital environment in the construction industry. The main objective of this study is to look at the readiness of Malaysia's construction industry to adopt the DfMA principles and develop a framework for it. This study builds a solid base from data collected from literature reviews. It is then progressed by interviewing several subject matter experts covering the perspectives of policymakers, developers, and IBS manufacturers. Based on thematic analysis, factors of people, processes, organization, and environment are identified. From these factors, a framework to adopt DfMA was formed. This study would assist the stakeholder in better understanding the DfMA principles and what is required to adopt them to exploit their potential to produce a sustainable construction in line with government policies on construction 4.0 and achieving the sustainable development goals. Based on this study, a better plan and strategy could be produced for a more competitive construction industry.

Keywords: DfMA; IBS; Project management; Digital construction; Construction 4.0

ABSTRAK

Pelaksanaan pembinaan menggunakan sistem binaan berindustri (IBS) telah lama diaplikasi di Malaysia dengan matlamat meningkatkan produktiviti serta mengurangkan kebergantungan kepada buruh asing tidak terlatih. Bagaimanapun, projek yang menggunakan teknologi IBS ini masih dilanda isu kelewatan siap, peningkatan kos daripada kos asal dan kualiti binaan yang kurang memuaskan disamping terus bergantung kepada tenaga buruh asing tidak terlatih. Punca utama bagi keadaan ini adalah disebabkan kurang kolaborasi dan kurang penerapan teknologi dalam pelaksanaan projek. Bagi meningkatkan prestasi industri pembinaan, prinsip rekabentuk untuk pembuatan dan pemasangan (DfMA) diperkenalkan. Disamping itu, prinsip DfMA juga digabung bersama pemodelan maklumat bangunan (BIM) bagi meningkatkan nilai DfMA dan menghasilkan persekitaran pembinaan digital yang lebih lestari. Objektif utama kajian ini adalah menilai kesiediaan industri pembinaan di Malaysia dan membangunkan kerangka pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia. Kajian ini menggunakan kajian perpustakaan bagi membina asas yang kukuh serta relevan. Kajian ini seterusnya menggunakan pendekatan temubual bagi mendapatkan maklumat yang merangkumi pandangan pembuat dasar, syarikat pemaju dan juga syarikat pengeluar komponen IBS. Hasil analisa tema, faktor-faktor berasaskan manusia, proses, organisasi dan persekitaran dikenalpasti. Faktor-faktor ini digunakan bagi pembangunan kerangka kerja pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia. Kajian ini dapat membantu industri pembinaan di Malaysia memahami prinsip dan potensi DfMA serta bagaimana melaksanakannya dengan berkesan. Ini dapat menghasilkan sektor pembinaan

yang mampan selaras dengan polisi kerajaan berkenaan pembangunan negara, plan industri pembinaan 4.0 dan matlamat pembangunan mampan. Berdasarkan kajian ini plan dan strategi berkaitan industri pembinaan boleh ditambah baik agar terus berdaya saing.

Kata kunci: DfMA; IBS; Pengurusan projek; Pembinaan secara digital; Pembinaan 4.0.

PENGENALAN

Industri pembinaan telah lama melihat pembinaan menggunakan kaedah pra siap sebagai satu cara untuk meningkatkan produktiviti pembinaan (El-Abidi et al. 2019). Industri pembinaan di Malaysia juga telah menggunakan kaedah pembinaan menggunakan komponen pra siap atau lebih dikenali sebagai sistem bangunan berindustri (IBS). Pelaksanaan IBS ini tertumpu kepada pembuatan komponen binaan di kilang berdasarkan rekabentuk yang dihasilkan oleh pihak perunding yang kemudiannya di hantar ke tapak binaan untuk pemasangan oleh kontraktor pemasangan (Nawi, Noordin, et al. 2019).

Potensi penggunaan IBS dalam meningkatkan prestasi pembinaan telah dinyatakan dalam beberapa kajian terdahulu. Berdasarkan laporan kajian kes, penggunaan IBS dapat mengurangkan tempoh pembinaan, meningkatkan kualiti pembinaan dan mengurangkan keperluan buruh di tapak pembinaan (Fateh et al. 2021; Hui et al. 2020; Saikah et al. 2020; Saikah et al. 2019; Shamsuddin et al. 2021). Meskipun faedah penggunaan IBS telah jelas, adaptasi IBS dalam industri pembinaan di Malaysia masih belum dapat merealisasikan sepenuhnya potensi IBS (Ariffin et al. 2019). Walaupun IBS ada digunakan bagi komponen projek tertentu, namun keperluan buruh di tapak binaan masih tinggi, selain prestasi pembinaan masih menunjukkan kelewatan dan peningkatan kos daripada kos asal (Nawi, Nasir, et al. 2019).

Sehubungan itu prinsip atau kaedah rekabentuk berpandukan rekabentuk untuk pembuatan dan pemasangan (DfMA) dilihat sebagai berpotensi untuk membantu meningkatkan prestasi pembinaan menggunakan IBS seterusnya menjadi peneraju ke arah pembinaan secara digital (Bakhshi et al. 2022; Li et al. 2022). Rekabentuk mengikut prinsip DfMA telah lama digunakan dalam sektor pembuatan terutamanya dalam industri automotif. Penggunaannya telah menunjukkan kejayaan dalam meningkatkan produktiviti disamping mengurangkan pembaziran sumber sama ada dari segi bahan mahupun tenaga kerja (Trinder 2018). Penggunaan prinsip DfMA dalam sektor pembuatan juga menghasilkan produk yang lebih berkualiti dalam tempoh masa yang lebih singkat. Manfaat ini dipercayai boleh turut diperolei oleh sektor pembinaan dengan adaptasi DfMA dalam proses rekabentuk yang disusuli oleh pembuatan, pengangkutan, dan pemasangan (Banks et al. 2018; Basarir et al. 2018; Chen et al. 2018; Ferreira et al. 2021; Gao et al. 2020; Wasim et al. 2020).

Pelaksanaan DfMA dalam pembinaan akan menjadi lebih lengkap dan produktif dengan integrasi sistem pemodelan maklumat bangunan (BIM) (Rahimian et al. 2020; Wang et al. 2020). BIM akan mampu memendekkan tempoh

masa rekabentuk dan menyemak sebarang percanggahan rekabentuk yang dihasilkan (Wu et al. 2021). Penggunaan BIM akan membantu meringkaskan proses pemindahan data dari proses rekabentuk ke proses pembuatan dan seterusnya proses pemasangan (Machado et al. 2020; Ratajczak et al. 2019). Penggunaan BIM bersama DfMA juga mampu menyusun program kerja yang lebih baik dari proses pembuatan, pengangkutan dan juga pemasangan (Elghaish et al. 2020; Khalili 2021; Tallgren et al. 2020; Tavakolan et al. 2021). Pelaksanaan BIM dalam industri pembinaan Malaysia, walaupun masih belum mencapai tahap yang diperlukan, adalah jelas dan dilihat sebagai menggalakkan (Hussain et al. 2020).

PELAKSANAAN DFMA BERSAMA BIM DALAM INDUSTRI PEMBINAAN

DfMA merupakan kaedah dan falsafah rekabentuk yang berasal dari industri pembuatan. Hasil gabungan rekabentuk untuk pembuatan dan rekabentuk untuk pemasangan yang diperkenalkan dalam industri pembuatan pada tahun 1960an dan 1970an namun masih baru diadaptasi dalam industri pembinaan (Trinder 2018).

Negara Singapura, China, United Kingdom dilihat sebagai negara peneraju dalam penggunaan prinsip DfMA dalam industri pembinaan. Kerajaan bagi ketiga-tiga negara ini telah, sama ada mempunyai garis panduan atau memberi penekanan, berkenaan pelaksanaan penggunaan DfMA dalam industri pembinaan berdasarkan keperluan industri setempat. Penggunaan prinsip rekabentuk DfMA dan BIM diakui merupakan satu pemangkin ke arah adaptasi pembinaan secara digital.

Kerajaan United Kingdom telah mengiktiraf DfMA bersama BIM sebagai pendekatan termaju bagi kaedah pembinaan moden (MMC). Syarikat utama dalam industri pembinaan juga telah meanggap prinsip DfMA sebagai masa depan industri pembinaan (Tan et al. 2020). Bagi meningkatkan kefahaman dan implelmentasi prinsip DfMA, Institut Arkitek DiRaja British (RIBA) telah menerbitkan plan kerja bagi pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan British. Ia telah mentakrifkan DfMA sebagai pendekatan yang mampu membantu pembinaan dari luar tapak binaan. 5 aras pelaksanaan DfMA yang dikenalpasti oleh RIBA adalah, 1) pembuatan komponen binaan, 2) pemasangan kecil, 3) pra pemasangan tidak volumetri, 4) pra pemasangan volumetri, dan 5) bangunan secara modular (Tan et al. 2020; Tik et al. 2019). Selain RIBA, Institut Surveyor DiRaja, United Kingdom` juga turut sama mengiktiraf pelaksanaan DfMA bagi industri pembinaan (Langston et al. 2021).

Pelaksanaan DfMA, BIM dan prinsip rekabentuk untuk kebolehbinaan merupakan pemangkin yang dikenalpasti

bagi menjadikan industri pembinaan di Hong Kong lebih maju ke hadapan. Pelaksanaan DfMA dengan menggunakan terma pembinaan integrasi modular (MiC) telah digunakan secara meluas di Hong Kong (Langston et al. 2021). MiC merupakan kaedah pembinaan di mana modul binaan digabungkan dan dilengkapi dengan kemasan serta pemasangan di kilang sebelum dihantar untuk pemasangan di tapak binaan. Pihak Jabatan Bangunan Hong Kong juga telah menyediakan sistem bagi proses kelulusan pelaksanaan sistem MiC dan penggunaan komponen MiC bagi projek pembangunan swasta.

Dalam meningkatkan produktiviti industri pembinaan, pelaksanaan DfMA dikenalpasti sebagai strategi kritikal dan sangat digalakkan oleh kerajaan Singapura. Pada tahun 2014, pelaksanaan DfMA telah dijadikan mandatori bagi pembangunan melibatkan tanah yang diperolehi daripada kerajaan (Gao et al. 2018). Pihak berkuasa bangunan dan pembinaan Singapura (BCA) juga telah melancarkan garis panduan produktiviti industri pembinaan yang memberi penekanan terhadap pelaksanaan DfMA bagi meningkatkan produktiviti industri pembinaan di Singapura. Kaedah pembinaan menggunakan modul volumetrik pra siap dan pra lengkap (PPVC) merupakan kaedah DfMA tipikal yang digunakan di Singapura.

Terdapat 3 persepektif yang jelas bagi pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan. DfMA dilihat sebagai proses sistematik yang menggabungkan aspek rekabentuk, pembuatan serta pemasangan dan memberi nilai tambah bagi keseluruhan proses pembinaan. DfMA juga boleh dilihat sebagai sistem penilaian yang mengukur tahap kecekapan dan produktiviti proses pembuatan dan pemasangan bagi pembinaan. Selain itu, DfMA dilihat sebagai kaedah pembinaan berkait rapat dengan pembinaan secara pra siap dan modular yang memberi pembaharuan dalam industri pembinaan (Gao et al. 2020).

Di Malaysia, pihak Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan Malaysia (CIDB) telah memperkenalkan program transformasi industri pembinaan (CITP) 2016-2020 sebagai langkah mentransformasi industri pembinaan di Malaysia (El-Abidi et al. 2019). Program ini telah mengenal pasti matlamat strategik kritikal dalam memaju dan mengembangkan industri pembinaan di Malaysia ke arah industri yang berproduktiviti yang tinggi, mampan, dan beklass dunia. Kesenambungan daripada program CITP ini, Plan Strategik Pembinaan 4.0 telah di perkenalkan bagi menggarap hala tuju industri pembinaan bagi tempoh 5 tahun bermula 2021 hingga 2025 (Cidb 2020). Program-program ini memberi penekanan kepada adaptasi teknologi seperti BIM, (*internet of things*) IoT dan revolusi industri 4.0 ke arah pembinaan secara digital.

Kelebihan dan manfaat yang boleh diterima oleh industri pembinaan dengan menggabungkan prinsip DfMA dan teknologi BIM adalah jelas, bagaimanapun kesedaran berkenaannya masih rendah. Data-data dan pembuktian bagi menyakinkan industri pembinaan untuk melaksanakan DfMA bersama BIM dalam pembinaan juga masih sedikit. Oleh itu, kajian berkenaan pelaksanaan DfMA bersama BIM

dalam pembinaan terutama bagi IBS perlu ditingkatkan (Hyun et al. 2022). Tahap pemahaman dan pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia juga adalah tidak jelas. Sehubungan itu, kajian ini ingin melihat kepada pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia. Data-data berkenaan status pelaksanaan, faktor penggalak dan faktor yang menghindar pelaksanaan DfMA ingin dikumpul dan dijadikan rujukan bagi melihat strategi pelaksanaan yang boleh diaplikasi bagi pelaksanaan DfMA yang berkesan bagi industri pembinaan di Malaysia khususnya dan juga bagi negara-negara lain yang mempunyai faktor-faktor berkaitan yang serupa.

KAEDAH KAJIAN

TEMUBUAL

Bagi menjawab persoalan bagaimana prinsip DfMA boleh dilaksanakan dengan berkesan dalam industri pembinaan di Malaysia, metodologi kualitatif telah digunakan bagi kajian ini memandangkan objektif kajian ini lebih bersifat eksploratori bagi mendapatkan pemahaman berkaitan adaptasi prinsip DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia (Silverman 2013; Walliman 2011).

Kaedah temubual separa berstruktur digunakan bagi mengumpul data primer kajian ini. Kaedah ini dipilih kerana ianya boleh membantu dalam mengumpul data yang tiada dalam kajian perpustakaan dari segi fakta, pandangan atau sikap, cadangan, proses, pengalaman mahupun jangkaan pihak yang ditemubual berkenaan topik kajian (Abowitz et al. 2010). Temubual separa berstruktur juga dilihat dapat memberi ruang bagaimana pihak yang ditemubual ingin menjawab soalan yang dikemukakan selain turut menjawab soalan-soalan yang spesifik. Selain itu, faktor di mana pihak yang ditemubual mempunyai latar belakang atau dari sistem yang serupa dengan pihak yang menemubual dapat meningkatkan keberangkalian persetujuan bagi menyertai sesi temubual.

Berdasarkan kajian kualitatif yang lepas, prinsip ketepatan data merupakan aspek penting yang perlu diambil kira dalam pengumpulan data. Ketepatan data adalah apabila data yang diperolehi sehingga satu tahap tidak lagi memberi input baharu berkenaan perihal yang dikaji. Para penyelidik yang menggunakan kaedah pengumpulan data yang sama telah mengesahkan, 6 hingga 12 temubual adalah dimana data daripada temubual kualitatif kebiasaannya hampir mencapai tahap ketepatan data (Francis et al. 2010; Guest et al. 2006). Bagaimanapun jumlah temubual yang diperlukan bagi mendapat data yang mencukupi sentiasa bergantung kepada jenis dan tujuan kajian yang dilakukan.

Sembilan pemain industri yang mempunyai pengetahuan berkenaan prinsip DfMA termasuk penyelidik bidang teknologi pembinaan telah dikenalpasti untuk menyertai sesi temubual separa berstruktur ini. Bagi menghormati keutamaan individu dalam suasana pandemik Covid-19, temubual dijalankan sama ada secara dalam talian atau secara bersemuka. Temubual telah direkodkan secara

digital dan dialihkan kedalam bentuk teks. Transkrip yang dihasilkan dari temubual yang dijalankan kemudian dianalisa berdasarkan kod dan tema.

ANALISIS DEMOGRAFIK

Demografik peserta temubual bagi kajian ini adalah pelbagai dari segi karekteristik individu dan organisasi yang terlibat. Jadual 1 memberi ringkasan maklumat demografik peserta temubual yang memberi gambaran berkenaan latar belakang, bidang kepakaran, pengalaman serta pengetahuan berkaitan DfMA.

ANALISIS DATA TEMUBUAL

Bagaimana tahap penerimaan pemain industri terhadap manfaat DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia?

Peserta temubual telah diminta untuk memberi pandangan terhadap tahap penerimaan pemain industri terhadap manfaat yang boleh diperolehi melalui pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia. Kesemua peserta temubual bersetuju bahawa industri pembinaan di Malaysia sedia untuk menerima manfaat daripada pelaksanaan DfMA. Antara manfaat utama yang diutarakan adalah seperti di Jadual 2.

JADUAL 1. Analisa demografik peserta temubual

Peserta	Umur (Tahun)	Tahap Pendidikan Tertinggi	Pengalaman Kerja Dalam Industri (Tahun)	Jawatan Terkini	Kadar Kefahaman DfMA	Pengalaman projek DfMA
R1	35-45	Sarjana Muda	13	Pengurus Rekabentuk IBS	Sederhana	Tiada
R2	35-45	Sarjana	20	Pengurus Teknologi Binaan	Baik	Tiada
R3	35-45	Sarjana	20	Pengurus BIM	Baik	Tiada
R4	35-45	Kelayakan Professional	18	Pengurus	Sederhana	Tiada
R5	25-35	Sarjana	12	Jurutera Kanan	Sedikit	Tiada
R6	35-45	Sarjana	14	Pengurus	Sedikit	Tiada
R7	45-55	Sarjana	22	Pengarah Syarikat	Sederhana	Tiada
R8	35-45	Kelayakan Professional	20	Pengurus	Sederhana	Tiada
R9	25-35	Sarjana Muda	10	Jurutera Kanan	Sedikit	Tiada

JADUAL 2. Tujuan dan manfaat pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan

Tujuan dan manfaat pelaksanaan DfMA	
a.	Mempercepat tempoh penyiapan projek melalui penggunaan komponen binaan pasang siap
b.	Mengurangkan kos pembinaan
c.	Mengurangkan penggunaan buruh asing dan tidak terlatih
d.	Meningkatkan kualiti dan kecekapan pembinaan melalui pendekatan automasi jentera
e.	Meningkatkan kemampuan pembinaan melalui pengurangan sisa binaan, kecekapan logistik dan kecekapan pengangkutan
f.	Meningkatkan kecekapan pengurusan pembinaan
g.	Mengurangkan masa pemasangan melalui kaedah pemasangan seragam dan penyelarasan sendiri komponen binaan
h.	Meningkatkan kecekapan pembuatan komponen binaan melalui peralihan yang lancar dan cepat daripada fasa rekabentuk ke fasa pembuatan.
i.	Meningkatkan kebolehpercayaan melalui pengurangan pembahagian komponen binaan agar mengurangkan keberangkilian kegagalan
k.	Meningkatkan keselamatan pembinaan melalui pelaksanaan aktiviti pembinaan di dalam persekitaran kilang yang terkawal

“Pihak industri sentiasa bersedia untuk menerima inisiatif yang memberi nilai tambah dalam produk yang dihasilkan”. (Peserta 5)

“Industri mempunyai minat dan hasrat untuk beralih kearah DfMA. Bagaimanapun bukan mudah untuk merubah sesuatu yang telah diamalkan sekian lama”. (Peserta 8)

Secara keseluruhannya, boleh dikatakan bahawa pemain industri pembinaan di Malaysia sedia untuk menerima manfaat hasil pelaksanaan prinsip rekabentuk DfMA bagi projek pembinaan. Kesediaan menerima manfaat DfMA bagaimanapun bukanlah bermaksud kesediaan industri untuk melaksanakan sepenuhnya prinsip rekabentuk DfMA memandangkan terdapat beberapa faktor yang perlu diteliti sebelum ianya dapat dilaksanakan dengan berkesan.

“Ada organisasi yang telah melaksanakan sebahagian prinsip DfMA tanpa menyedarinya atau tidak mahu menyatakan bahawa mereka telah mula melaksanakan prinsip DfMA”. (Peserta 2)

Pandangan peserta 2 berkenaan tahap pelaksanaan DfMA di kalangan pemain industri pembinaan di Malaysia ini menunjukkan prinsip DfMA perlu dilaksanakan di Malaysia namun masih belum bersedia untuk dilaksanakan sepenuhnya.

Bagaimana tahap kesediaan pemain industri untuk pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia dan apakah faktor-faktor yang boleh mempengaruhi pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia?

Pemahaman yang betul berkenaan prinsip DfMA adalah penting sebelum mana-mana pihak dapat melaksanakan prinsip DfMA dalam sesuatu projek. Pernyataan peserta 1 dan 2 dilihat dapat mewakili pandangan umum berkenaan tahap kefahaman pemain industri pembinaan di Malaysia.

“Penerangan yang diberi oleh pihak-pihak tertentu berkenaan prinsip DfMA kadangkala bercanggah. Ini memberi gambaran pemahaman terhadap prinsip DfMA masih belum jelas.” (Peserta 1)

“Tahap kefahaman terhadap prinsip DfMA di kalangan pemain industri pembinaan di Malaysia adalah masih rendah. Berlaku salah tanggapan bahawa DfMA adalah satu rekabentuk untuk IBS. Terdapat juga pihak yang telah melaksanakan prinsip DfMA tanpa menyedari apa yang dilaksanakan merupakan sebahagian daripada prinsip DfMA.” (Peserta 2)

Secara keseluruhannya daripada temubual yang dijalankan dapat dikatakan bahawa tahap pemahaman prinsip DfMA masih rendah di kalangan pemain industri pembinaan di Malaysia. Tahap pemahaman yang tidak jelas dan berbeza antara pihak-pihak dalam industri pembinaan di Malaysia perlu diatasi bagi membolehkan ianya dilaksanakan secara berkesan.

Tahap kefahaman berkenaan prinsip DfMA juga boleh mempengaruhi ketersediaan tenaga pakar untuk menjayakan implementasinya. Tenaga pakar ini diperlukan merentas proses rekabentuk, pembuatan dan pemasangan bagi sesuatu projek.

“Keperluan tenaga pakar bagi melaksana DfMA adalah masih belum bersedia memandangkan tiada silibus dalam sistem pendidikan dan masih belum ada sistem latihan yang disediakan.” (Peserta 2)

“Kepakaran tempatan bagi DfMA dilihat sebelum bersedia terutama bagi rekabentuk pembuatan dan pemasangan.” (Peserta 3)

“Pekerja tidak mahir boleh mengakibatkan kegagalan kepada sistem binaan dan tidak memenuhi keperluan spesifikasi dan keperluan binaan. Apa yang dihasilkan oleh perekabentuk dan pengilang mungkin tidak difahami oleh pihak yang memasang komponen binaan.” (Peserta 7)

“Pelaburan dari pihak kerajaan bagi latihan dan program sudah memadai bagi meningkatkan pengetahuan dan kesedaran penggunaan IBS tetapi belum kearah DfMA.” (Peserta 4)

Selari dengan tahap kefahaman pemain industri terhadap prinsip DfMA, tahap ketersediaan tenaga pakar bagi melaksana DfMA juga dilihat masih belum bersedia. Tenaga kerja pakar merupakan salah satu faktor asas bagi membolehkan proses pembuatan dan pemasangan komponen yang berkesan.

Kaedah pembinaan moden sering melibatkan proses automasi dan mekanisasi, sementara itu pembuatan serta pemasangan komponen binaan sering melibatkan penggunaan teknologi baharu. Tahap kesediaan industri untuk menyediakan dan menggunakan teknologi terlibat menjadi salah satu faktor penentu kejayaan pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia.

“Pihak pengeluar komponen di Johor, Negeri Sembilan, Melaka telah bersedia untuk menyokong DfMA memandangkan mereka telah menyokong pelaksanaan di Singapura.” (Peserta 3)

“Teknologi sedia ada telah sedia bagi DfMA. Pihak industri ada yang telah menggunakan teknologi yang memenuhi permintaan luar negara. Sebagai contoh, pod tandas bagi pasaran Jepun telah dihasilkan oleh pengilang di Malaysia menggunakan komponen dari China dengan mengambil kesempatan kesukaran urusan antara Jepun dan China. Bagi PPVC terdapat pengilang yang telah menghasilkan PPVC bagi pasaran luar negara.” (Peserta 6)

“Dari segi pengetahuan dan teknologi di Malaysia adalah setara dan sedia untuk aplikasi IBS sepenuhnya dan mungkin juga DfMA. Pihak pengeluar IBS di Malaysia telah mempunyai sistem yang merangkumi rekabentuk, pembuatan dan pemasangan. Ini dapat mengatasi isu rantaian bekalan yang di alami oleh pelaksanaan IBS sebelum ini.” (Peserta 4)

Pandangan peserta 7, 6, dan 4 memberi indikator bahawa tahap ketersediaan teknologi tidak seharusnya menjadi faktor penghalang pelaksanaan DfMA di Malaysia. Walaupun tahap kefahaman dan tenaga pakar bagi melaksanakan prinsip DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia dilihat sebagai belum bersedia, namun teknologi untuk melaksanakannya dijangka telah bersedia. Ini memandangkan terdapat pengilang yang telah berjaya

memenuhi permintaan pasaran negara luar yang telah lebih awal memanfaatkan prinsip DfMA.

Selain ketersediaan tenaga pakar dan teknologi pembinaan untuk menyokong pelaksanaan DfMA, pelaburan, terutamanya bagi kos permulaan, juga merupakan satu aspek yang harus dilihat boleh mempengaruhi kadar pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia.

“Industri belum bersedia untuk melabur dalam DfMA. Syarikat-syarikat terutamanya syarikat kecil dan sederhana masih mengharapkan geran kerajaan terutama bagi pelaburan bagi kos permulaan.” (Peserta 7)

“Dari segi aspek pelaburan, pihak industri dilihat sebagai bersedia dan hanya menunggu kepada peluang. Keupayaan mendapat sokongan pihak bank juga dilihat sebagai bukan isu.” (Peserta 8)

“Pihak kontraktor utama bersedia untuk melabur bagi persediaan pelaksanaan prinsip DfMA.” (Peserta 1)

Kenyataan peserta 1 dan peserta 8 jelas menunjukkan bahawa pihak kontraktor utama yang melaksanakan projek-projek besar di dalam dan luar negara bersedia untuk membuat pelaburan bagi pelaksanaan DfMA. Bagaimanapun, kesediaan in bergantung kepada permintaan dan peluang memanfaatkan DfMA pada skala yang boleh menguntungkan. Syarikat-syarikat kecil dan sederhana mungkin keberatan untuk melabur memandangkan peluang dalam negara buat masa ini dilihat masih tidak berdaya saing.

Bagi mana-mana industri, rantaian bekalan merupakan satu aspek penting dalam memastikan kejayaan aktiviti industri tersebut. Rantaian bekalan dalam industri pembinaan penting bagi mengawal kualiti, kos dan tempoh pembinaan sesuatu projek selain aspek-aspek seperti keselamatan serta kemampuan projek.

“IBS pernah gagal di Malaysia disebabkan rantaian bekalan yang tidak dapat dikawal dan tidak mengikut spesifikasi yang ditetapkan oleh rekabentuk dan kaedah pemasangan. Sebagai kes contoh, apabila berlaku kegagalan dari segi kebocoran binaan, ianya mengakibatkan konflik antara pihak perekabentuk, pembuatan dan pemasangan.” (Peserta 1)

“Integrasi rantaian bekalan adalah wajib bagi pelaksanaan DfMA. DfMA perlu berasaskan projek bukan berasaskan organisasi. Industri belum bersedia kearah integrasi rantaian bekalan ini.” (Peserta 3)

“Rantaian bekalan juga masih belum bersedia bagi menyokong pelaksanaan DfMA selagi belum ada polisi yang jelas dan permintaan mencukupi.” (Peserta 6)

Berdasarkan pernyataan yang diberi oleh peserta 1, 5, dan 6, buat masa ini rantaian bekalan dalam industri pembinaan di Malaysia masih belum bersedia untuk menyokong pelaksanaan DfMA. Peserta 6 turut memberi penekanan terhadap keperluan bagi polisi yang jelas bagi meningkatkan permintaan terhadap penyesuaian rantaian bekalan bagi pelaksanaan DfMA.

Persekitaran ekonomi juga dilihat sebagai antara faktor yang boleh mempengaruhi pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan di Malaysia. Pandangan peserta 1 berkenaan fokus ekonomi negara dalam suatu tempoh tertentu mempengaruhi kesediaan industri untuk melaksanakan sesuatu prinsip atau teknologi dalam pembinaan.

“Situasi ekonomi ketika pandemik tertumpu kepada isu kesihatan menyebabkan perkembangan terhadap pembinaan agak perlahan”. (Peserta 9)

“Walaupun mempunyai permintaan yang baik dalam industri, harga komponen IBS masih dilihat sebagai tinggi dan ini boleh merencatkan pelaksanaan DfMA bagi pembinaan secara pra siap”. (Peserta 3)

Harga komponen IBS dilihat masih tidak dapat menyaingi harga pembinaan secara konvensional. Ini boleh menjejaskan permintaan terhadap komponen binaan IBS dan melewatkan pelaksanaan DfMA. Polisi dan garis panduan pihak berwajib berkaitan DfMA juga masih belum dibangunkan. Bagaimanapun polisi bagi IBS telah ada namun garis panduan bagi penyeragaman rekabentuk IBS belum tersedia.

“Dari segi polisi kerajaan masih belum ada yang berkenaan DfMA”. (Peserta 2)

“Polisi kerajaan masih belum ada yang menyokong pelaksanaan DfMA. Belum bersedia memandangkan hanya terdapat plan perancangan.” (Peserta 3)

Selain polisi yang berkait secara langsung berkenaan pelaksanaan IBS atau DfMA, polisi berkenaan penggunaan buruh asing dalam industri pembinaan di Malaysia turut memberi kesan kepada kesediaan pemain industri mengaplikasi kaedah dan teknologi baru dalam industri pembinaan.

“Polisi kerajaan untuk mengambil buruh asing bagi pembinaan akan membantutkan perkembangan teknologi seperti IBS di Malaysia”. (Peserta 9)

“Polisi kerajaan berkaitan buruh bagi pembinaan memberi impak negatif terhadap pelaksanaan teknologi binaan seperti IBS dan DfMA”. (Peserta 1)

Integrasi BIM dalam pelaksanaan DfMA bagi industri pembinaan merupakan pelengkap bagi pelaksanaan DfMA yang berkesan. Sistem BIM yang merangkumi setiap aspek kitaran projek dijangka akan menjadi salah satu faktor pemboleh utama dalam melancarkan prinsip DfMA ke dalam industri pembinaan di Malaysia.

“BIM adalah proses yang membantu kaedah pembinaan. Boleh dikatakan ianya adalah kunci yang membolehkan kaedah pembinaan dilaksanakan dengan berkesan”. (Peserta 2)

“Pandangan yang melihat kekurangan DfMA adalah pada masa yang lama untuk rekabentuk boleh ditepis dengan penggunaan satu rekabentuk asas yang sama untuk projek berlainan. Penggunaan perpustakaan rekabentuk BIM akan dapat menyokong perkara ini.”. (Peserta 3)

Penggunaan BIM, walaupun masih pada tahap permulaan, tetapi kesedaran berkenaan kepentingannya bagi masa depan industri pembinaan adalah semakin baik. Sehubungan itu gabungan prinsip DfMA bersama BIM bagi industri pembinaan di Malaysia adalah suatu perkara yang bertepatan dengan usaha mentransformasikan industri pembinaan Malaysia untuk ke arah pembinaan secara digital dan pembinaan 4.0 bersempena revolusi industri pembinaan 4.0.

Pernyataan-pernyataan di atas memberi gambaran tahap kesediaan industri pembinaan di Malaysia untuk melaksanakan prinsip DfMA. Aspek teknologi dan kewangan tidak dilihat sebagai faktor penghalang berdasarkan keupayaan pembuatan sedia ada dan kesediaan melabur yang baik. Bagaimanapun, faktor polisi, garis panduan, pengetahuan, rantaian bekalan dan persekitaran ekonomi merupakan perkara yang perlu diberi perhatian dalam menyokong pelaksanaan DfMA.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Analisa data temubual menunjukkan semua peserta temubual bersetuju bahawa pelaksanaan DfMA mempunyai potensi untuk menambah baik pelaksanaan pembinaan secara IBS. Manfaat pelaksanaan DfMA yang merangkumi aspek masa, kos dan kualiti projek dilihat sangat bertepatan dengan keperluan industri dan juga hasrat kerajaan. Manfaat lain seperti kemampunan industri pembinaan, kelestarian sumber, keselamatan dan kesihatan tempat kerja juga sangat berkaitan dengan isu-isu semasa dalam industri pembinaan. Sehubungan itu pelaksanaan konsep rekabentuk DfMA sangat dialukan.

Namun bagi melaksana konsep DfMA ini, ianya memerlukan semua pihak membuat penataan semula cara kerja dan pendekatan pelaksanaan pengurusan projek pembinaan. Perlu ada strategi yang melihat keperluan keseluruhan persekitaran industri pembinaan dalam menerima pelaksanaan konsep DfMA.

Hasil analisis data yang diperolehi dari sesi temubual yang diadakan boleh dikatakan prinsip rekabentuk DfMA masih kurang difahami. Namun semua peserta temubual bersetuju bahawa manfaat dan kelebihan yang boleh diperolehi daripada pelaksanaan DfMA merupakan perkara yang diperlukan oleh industri pembinaan di Malaysia. Penggunaan IBS yang telah lama dilaksanakan di Malaysia juga dilihat sebagai pemangkin bagi kesediaan pelaksanaan DfMA.

Kajian ini menunjukkan pelaksanaan DfMA bagi industri pembinaan tidak hanya bergantung kepada teknologi dan pelaburan kewangan. Ianya memerlukan satu anjakan paradigma dari sudut penilaian rekabentuk dan meningkatkan pengetahuan berkenaan penyelarasan rekabentuk dari aspek pembuatan, logistik dan pemasangan.

Status penggunaan BIM dalam projek pembinaan di Malaysia adalah menggalakkan. Keupayaan dan manfaat BIM dalam koordinasi projek telah sedia diterima oleh pemain industri. Sehubungan itu integrasi BIM dalam pelaksanaan rekabentuk dari peringkat awal permulaan projek hingga kepada penyempurnaan di tapak bina merupakan kunci utama bagi pelaksanaan DfMA yang berkesan. Ianya secara tidak langsung menjadi langkah yang penting dalam membawa industri pembinaan ke arah pembinaan secara digital.

Penilaian semula program latihan dan silibus pengajian berkenaan pendekatan rekabentuk binaan merupakan satu aspek yang boleh meningkatkan pemahaman terhadap DfMA dan dapat melahirkan tenaga pakar bagi menyokong kaedah pembinaan moden. Tahap ketersediaan tenaga pakar bagi DfMA juga memberi gambaran keperluan pengembangan pengetahuan berkenaan DfMA di kalangan pemain industri sedia ada dan para pelajar di bidang berkaitan pembinaan. Perlu ada program yang menyeluruh dalam membangunkan tenaga pakar bagi melaksanakan prinsip DfMA dalam industri pembinaan. Tenaga pakar ini sangat diperlukan dari peringkat rekabentuk hinggalah kepada proses pembinaan di tapak bina. Ini adalah penting bagi benar-benar mencapai objektif pelaksanaan prinsip DfMA dan bukan hanya sekadar dilabel sebagai projek berasaskan DfMA.

Program peningkatan pengetahuan ini akan memberi lebih kesedaran berkaitan manfaat pelaksanaan DfMA kepada industri pembinaan di Malaysia. Dengan kesedaran berkaitan manfaat ini akan dengan sendirinya menggerakkan organisasi terlibat untuk melaksanakan DfMA dalam projek-projek mereka. Manfaat DfMA yang bukan hanya tertakluk kepada manfaat secara langsung seperti mempermudah proses pembuatan, logistik dan pemasangan, ianya juga memberi manfaat secara tidak langsung seperti meningkatkan tahap kemampunan industri pembinaan dan juga mengurangkan kebergantungan kepada tenaga asing tidak berkemahiran selain mewujudkan tempat kerja yang lebih selamat. Penilaian keuntungan hasil daripada pelaksanaan DfMA juga perlu diukur secara menyeluruh bukan hanya pada kos bahan binaan dan kos pemasangan, namun perlu juga mengambil kira faktor pengurangan pembaziran sumber dan peluang masa hadapan hasil daripada penjimatan masa pembinaan selain faktor kepuasan pelanggan terhadap hasil binaan yang lebih berkualiti.

Penyediaan polisi kerajaan yang menyokong pelaksanaan DfMA merupakan faktor utama yang dapat menjadi pemangkin bagi menggerakkan faktor-faktor lain bagi membolehkan industri pembinaan bersedia dengan pelaksanaan DfMA. Kesediaan agensi kerajaan dan pihak berkuasa tempatan untuk mempertimbangkan penggunaan produk DfMA merupakan aspek penting dalam membolehkan adaptasi DfMA dilaksanakan dalam industri pembinaan di Malaysia. Selain itu polisi berkenaan tenaga buruh industri pembinaan juga perlu diperhalusi bagi menggalakkan pemain industri pembinaan beralih kepada penggunaan teknologi dan kaedah pembinaan yang moden dengan mengurangkan kebergantungan kepada tenaga buruh asing yang tidak mahir.

Kesediaan polisi kerajaan dalam menyokong pelaksanaan DfMA bakal membuka ruang bagi lebih banyak penyelidikan dilaksanakan dan turut dapat menghasilkan garis panduan pelaksanaan DfMA berdasarkan fenomena industri pembinaan di Malaysia. Persediaan persekitaran ekonomi akan turut sama menyokong pelaksanaan DfMA. Rantainya bekalan dan pengurusan kontrak yang lebih bersesuaian dengan kaedah pelaksanaan DfMA akan dapat dibangunkan selari dengan permintaan dan peluang pelaksanaan yang berkembang.

Namun begitu sudah tentu semua ini tidak dapat berlaku secara serentak dan pelaksanaan DfMA perlu berlaku secara berperingkat bagi memastikan tujuan utama pelaksanaan DfMA dapat dicapai. Rajah 1 menunjukkan cadangan strategi pelaksanaan DfMA yang dicadangkan hasil dapatan kajian ini. Faktor-faktor dalam kerangka kerja ini berbeza jika dibandingkan kepada rangka kerja yang dibangunkan oleh Institut Arkitek DiRaja British (RIBA) yang menumpukan kepada tahap pelaksanaan DfMA berdasarkan kaedah pembinaan luar tapak (Tik et al. 2019) dan faktor yang mempengaruhi pelaksanaan DfMA di Singapura yang lebih tertumpu kepada prestasi pelaksanaan projek berbanding penguatkuasaan dan insentif kerajaan

(Gao et al. 2018). Ini menunjukkan tahap kesediaan industri pembinaan di Malaysia berbanding dua negara tersebut yang telah memberi penekanan kepada pelaksanaan prinsip DfMA dalam industri pembinaan mereka.

KESIMPULAN

Kajian ini dilaksanakan memandangkan kurangnya penyelidikan berkenaan strategi pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan. Objektif kajian ini adalah mengenal pasti faktor mempengaruhi pelaksanaan prinsip DfMA dan membangunkan kerangka strategi pelaksanaannya dalam industri pembinaan di Malaysia. Secara keseluruhannya kesediaan teknologi dan modal bukanlah faktor penghalang namun begitu ada keperluan bagi mewujudkan polisi dan garis panduan yang dapat menyokong pembinaan berteknologi tinggi disamping keperluan meningkatkan kepakaran dalam teknologi moden industri pembinaan. Hasil analisa data dalam kajian ini satu kerangka strategi pelaksanaan prinsip DfMA telah dibangunka. Daripada kerangka strategi ini, polisi dan garis panduan dapat dibangunkan bagi menyokong pelaksanaan prinsip DfMA.



RAJAH 1. Cadangan kerangka strategi pelaksanaan DfMA

Bagaimanapun, kajian yang dijalankan secara kualitatif ini mungkin mempunyai ruang untuk ditambah baik terutama dari segi ruang lingkup skop kajian. Kajian ini pada asasnya hanya tertumpu kepada peserta di Lembah Klang dan terdiri daripada para penyelidik, jabatan kerajaan, wakil pihak pamaju, dan wakil pihak pengeluar komponen IBS. Kajian ini juga hanya memberi fokus kepada faktor yang mempengaruhi pelaksanaan DfMA dalam industri pembinaan. Maklumat yang lebih meluas boleh diperolehi dengan perluasan skop kajian dengan fokus kajian yang pelbagai.

Bagi cadangan kajian akan datang, para penyelidik boleh membuat kajian berkenaan struktur ekonomi industri pembinaan bagi menyokong pelaksanaan konsep dan kaedah pembinaan moden seperti DfMA. Selain itu, kajian berkenaan hubungan kait kaedah perolehan dan pelaksanaan kaedah moden pembinaan juga satu topik kajian yang akan berkait rapat dengan kajian ini. Kajian-kajian yang memberi tumpuan kepada faktor yang mempengaruhi pelaksanaan konsep seperti DfMA ini akan menjana data-data yang sangat bermanfaat dalam menentukan hala tuju industri pembinaan negara.

Adalah diharapkan kajian dan hasil dapatan kajian ini dapat memberi pemahaman yang baik kepada mereka yang cuba memahami berkenaan DfMA dalam industri pembinaan dan faktor yang mempengaruhi pelaksanaannya.

PENGHARGAAN

Penyelidik kajian ini ingin memberi penghargaan kepada pihak Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia serta Universiti Kebangsaan Malaysia atas peluang dan sokongan kewangan melalui Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS) FRGS/1/2022/TK01/UKM/02/2 dalam menjayakan kajian ini.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Abowitz, D. A. & Toole, T. M. 2010. Mixed method research: Fundamental issues of design, validity, and reliability in construction research. *Journal of Construction Engineering and Management* 136(1): 108-116.
- Ariffin, H. L. T., Mohd, N. I., Mustafa, N. E., Bandi, S. & Chee, C. H. M. 2019. Perspectives on issues and the application of the innovative procurement approaches for the industrialised building system (IBS). *International Journal of Built Environment and Sustainability* 6(1): 39-43.
- Bakhshi, S., Chenaghlo, M. R., Rahimian, F. P., Edwards, D. J. & Dawood, N. 2022. Integrated Bim and Dfma parametric and algorithmic design based collaboration for supporting client engagement within offsite construction. *Automation in Construction* 133(15).
- Banks, C., Kotecha, R., Curtis, J., Dee, C., Pitt, N. & Papworth, R. 2018. Enhancing high-rise residential construction through design for manufacture and assembly - A UK case study. *Proceedings of Institution of Civil Engineers: Management, Procurement and Law* 171(4): 164-174.
- Basarir, B. & Cem Altun, M. 2018. A redesign procedure to manufacture adaptive façades with standard products. *Journal of Facade Design and Engineering* 6(3): 077-100.
- Chen, K. & Lu, W. S. 2018. Design for manufacture and assembly oriented design approach to a curtain wall system: A case study of a commercial building in Wuhan, China. *Sustainability* 10(7): 16.
- Cidb, C. I. D. B. M. 2020. Construction 4.0 Strategic Plan.
- El-Abidi, K. M. A., Ofori, G., Zakaria, S. a. S., Mannan, M. A. & Abas, N. F. 2019. Identifying and evaluating critical success factors for industrialized building systems implementation: Malaysia study. *Arabian Journal for Science and Engineering* 44(10): 8761-8777.
- Elghaish, F. & Abrishami, S. 2020. Developing a framework to revolutionise the 4d Bim process: Ipd-based solution. *Construction Innovation-England* 20(3): 401-420.
- Fateh, M. a. M. & Mohammad, M. F. 2021. The Framework of factors for the improvement of the significant clauses in the standard form of contract for the Ibs construction approach in Malaysia. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology* 12(1): 164-169.
- Ferreira, C. V., Biesek, F. L. & Scalice, R. K. 2021. Product innovation management model based on Manufacturing Readiness Level (Mrl), Design for Manufacturing and Assembly (Dfma) and Technology Readiness Level (Trl). *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 43(7): 360.
- Francis, J. J., Johnston, M., Robertson, C., Glidewell, L., Entwistle, V., Eccles, M. P. & Grimshaw, J. M. 2010. What is an adequate sample size? Operationalising data saturation for theory-based interview studies. *Psychology and health* 25(10): 1229-1245.
- Gao, S., Jin, R. Y. & Lu, W. S. 2020. Design for manufacture and assembly in construction: A review. *Building Research and Information* 48(5): 538-550.
- Gao, S., Low, S. P. & Nair, K. 2018. Design for Manufacturing and Assembly (Dfma): A Preliminary study of factors influencing its adoption in Singapore. *Architectural Engineering and Design Management* 14(6): 440-456.
- Guest, G., Bunce, A. & Johnson, L. 2006. How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. *Field methods* 18(1): 59-82.
- Hui, T. L. & Khoon, N. C. 2020. Comparative study on precast building construction and conventional building construction for housing project in Sarawak. *Jurnal Teknologi* 82(1): 75-84.
- Hussain, A. H., Alam, M. R. A., Ani, S., Ani, A. I. C. & Roslan, A. F. 2020. Assessing the organizations decision for digital transformation through bim implementation in Malaysia. *Malaysian Construction Research Journal* Special Issue Vol. 11(16).
- Hyun, H., Kim, H. G. & Kim, J. S. 2022. Integrated off-site construction design process including Dfma considerations. *Sustainability* 14(7): 20.
- Khalili, A. 2021. An Xml-Based approach for geo-semantic data exchange from Bim to Vr applications. *Automation in Construction* 121(103425).
- Langston, C. & Zhang, W. 2021. Dfma: Towards an integrated strategy for a more productive and sustainable construction industry in Australia. *Sustainability (Switzerland)* 13(16):

- Li, M. K., Wong, B. C. L., Liu, Y. H., Chan, C. M., Gan, V. J. L. & Cheng, J. C. P. 2022. Dfma-oriented design optimization for steel reinforcement using Bim and hybrid metaheuristic algorithms. *Journal of Building Engineering* 44(15).
- Machado, R. L. & Vilela, C. 2020. Conceptual framework for integrating Bim and augmented reality in construction management. *Journal of Civil Engineering and Management* 26(1): 83-94.
- Nawi, M. N. M., Nasir, N. M., Azman, M. N. A., Jumintono & Khairudin, M. 2019. Investigating factors of delay in Ibs construction project: Manufacturer perspectives. *Journal of Engineering Science and Technology* 14(59-66).
- Nawi, M. N. M., Noordin, A., Tamrin, N., Nifa, F. a. A. & Lin, C. K. 2019. An ecological study on enhancing the Malaysian construction ecosystem: Readiness implementation factors in Industrialised Building System (Ibs) projects. *Ekoloji* 28(107): 545-552.
- Rahimian, F. P., Seyedzadeh, S., Oliver, S., Rodriguez, S. & Dawood, N. 2020. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of Bim and machine learning. *Automation in Construction* 110(
- Ratajczak, J., Riedl, M. & Matt, D. T. 2019. Bim-based and ar application combined with location-based management system for the improvement of the construction performance. *Buildings* 9(5):
- Saikah, M., Kasim, N. & Kasim, R. 2020. Potential implementation of lightweight steel panel system in affordable housing project: Developers perspective. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology* 11(3): 59-75.
- Saikah, M., Kasim, N., Sarpin, N., Noh, H. M. & Zainal, R. 2019. Influencing factors of Light Steel Panel (Lsp) system implementation for affordable housing project in Malaysia. *Malaysian Construction Research Journal* 8(3 Special issue): 77-93.
- Shamsuddin, S. M., Zakaria, R., Abidin, N. I., Hashim, N. & Yusuwani, N. M. 2021. Confirmatory factor analysis of the life cycle costing sub-cost distribution for industrialised building system using sem-Pls. *Engineering Journal-Thailand* 25(1): 287-296.
- Tallgren, M. V., Roupé, M., Johansson, M. & Bosch-Sijtsema, P. 2020. Bim-tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction. *Journal of Information Technology in Construction* 25(374-397).
- Tan, T., Lu, W. S., Tan, G. Y., Xue, F., Chen, K., Xu, J. Y., Wang, J. & Gao, S. 2020. Construction-oriented design for manufacture and assembly guidelines. *Journal of Construction Engineering and Management* 146(8): 12.
- Tavakolan, M., Mohammadi, S. & Zahraie, B. 2021. Construction and resource short-term planning using a Bim-based ontological decision support system. *Canadian Journal of Civil Engineering* 48(1): 75-88.
- Tik, L. B., Jhun, K. K., Tatt, S. L., Lin, A. F. & Min, T. S. 2019. Design for Manufacturing and Assembly (Dfma) for Malaysia construction industry. *Malaysian Construction Research Journal* 7(Special issue 2): 190-193.
- Trinder, L. 2018. Design for manufacture and assembly_its benefits and risks in the UK water industry. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management Procurement and Law* 171(4): 152-163.
- Wang, H. W., Lin, J. R. & Zhang, J. P. 2020. Work package-based information modeling for resource-constrained scheduling of construction projects. *Automation in Construction* 109(
- Wasim, M., Serra, P. V. & Ngo, T. D. 2020. Design for manufacturing and assembly for sustainable, quick and cost-effective prefabricated construction - A review. *International Journal of Construction Management* 9.
- Wu, P., Jin, R. Y., Xu, Y. D., Lin, F., Dong, Y. T. & Pan, Z. H. 2021. The analysis of barriers to Bim implementation for industrialized building construction: A China study. *Journal of Civil Engineering and Management* 27(1): 1-13.