



Original Article

Practices in Reducing Embodied Carbon in Construction in Malaysia *Amalan Mengurangkan Karbon Terbenam dalam Pembinaan di Malaysia*



Nurul Sakina Mokhtar Azizi^{*1}, Tung Chii Lau¹, Har Einur Azrin Baharuddin², Nurulaini Abu Shamsi³

¹ Program Ukur Bahan Pusat Pengajian Perumahan Bangunan & Perancangan, Universiti Sains Malaysia, 11800 Minden, Pulau Pinang, Malaysia

² Jabatan Ukur Bahan, Fakulti Senibina, Perancangan dan Ukur, Universiti Teknologi MARA, Selangor, Malaysia

³ Jabatan Pengajian Sains dan Teknologi, Fakulti Sains, Universiti Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

* Correspondence email: sakinamokhtar@usm.my

Abstract

Embodied carbon in a construction project contributes 10% to 20% of the total global carbon emissions. Often practices in reducing embodied carbon are fragmented and relatively less emphasized as opposed to operational carbon emission. Hence this study aims to identify the practices of reducing embodied carbon in a construction project. A systematic literature review was conducted using the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA framework). A total of The final selection of sample of literature materials amounted to 28 publications published between 2015 and 2024 were analysed. The findings revealed that there are a total of 14 practices in reducing embodied carbon emission that can be adopted in a construction project. The present study contributes to the body of knowledge where it addresses the research gap that exists regarding the lack of clarity on the holistic practices for reducing embodied carbon in construction. It provides valuable insights and emphasises the areas in which improvements can be made to ensure a more robust approach to the mitigation of embodied carbon for achieving a sustainable construction.

Copyright © 2025 KARYA ILMU PUBLISHING - All rights reserved

Article Info

Received 10 January 2025

Received in revised form 25 April 2025

Accepted 30 May 2025

Available online 2 July 2025

Keywords

Embodied Carbon
Construction
Carbon Footprint
Sustainable
Karbon Terbenam
Pembinaan
Jejak Carbon
Mampan

Abstrak

Karbon terbenam dalam projek pembinaan menyumbang 10% hingga 20% daripada jumlah keseluruhan pelepasan karbon global. Amalan pengurangan karbon terbenam sering kali berpecah-pecah dan kurang diberi penekanan berbanding pelepasan karbon operasi. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk mengenal pasti tahap amalan pengurangan karbon terbenam dalam projek pembinaan. Satu kajian literatur sistematik telah dijalankan menggunakan rangka kerja 'Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)'. Sebanyak 28 penerbitan yang diterbitkan antara tahun 2015 hingga 2024 dianalisis. Penemuan kajian

menunjukkan terdapat sebanyak 14 amalan yang boleh diterapkan dalam projek pembinaan bagi mengurangkan pelepasan karbon terbenam. Kajian ini menyumbang kepada pengetahuan dengan menangani jurang penyelidikan yang wujud berkaitan kurangnya kefahaman mengenai amalan holistik dalam pengurangan karbon terbenam dalam pembinaan. Ia memberikan perspektif yang bernilai dan menekankan perkara yang memerlukan penambahbaikan untuk mewujudkan pendekatan yang lebih menyeluruh bagi mengurangkan karbon terbenam untuk mencapai pembinaan yang mampan.

Copyright © 2025 KARYA ILMU PUBLISHING - All rights reserved

1. Pengenalan

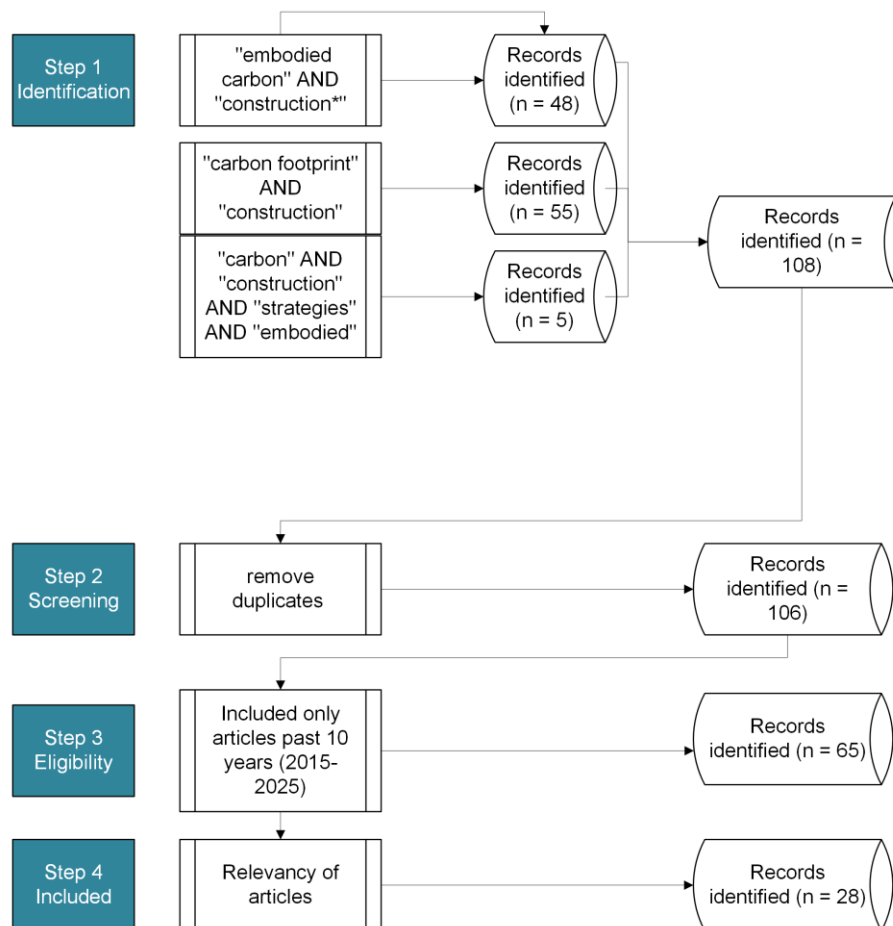
Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu pada 2021 telah melaporkan bahawa industri pembinaan menyumbang 36% daripada penggunaan tenaga dan 37% daripada pelepasan karbon secara global [1]. Negara Cina merupakan pengeluar pelepasan karbon terbesar, yang menyumbang 33% daripada pelepasan karbon global dimana sektor pembinaan industri menyumbang 40% daripada pelepasan ini [2]. Manakala, Malaysia juga antara penyumbang pelepasan karbon yang tinggi dimana sebanyak 288 juta tan pelepasan karbon setiap tahun adalah daripada pembakaran bahan api fosil dan proses industri seperti pengeluaran bahan binaan seperti simen dan keluli. Berbanding dengan industri lain, sektor pembinaan di Malaysia bertanggungjawab terhadap 24% daripada jumlah keseluruhan pelepasan karbon [3]. Pembuatan bahan binaan, pelupusan sisa binaan, penggunaan bangunan, pengangkutan bahan binaan dan aktiviti pembinaan di tapak adalah kesemua faktor yang menyumbang kepada peningkatan keseluruhan pelepasan karbon [4]. Kini, Malaysia menduduki tempat ke-21 daripada semua negara dengan pelepasan karbon yang terbesar [5]. Daripada statistik tersebut, ia menunjukkan bahawa industri pembinaan adalah penyumbang utama kepada pelepasan karbon ke persekitaran.

Untuk menangani isu ini, kerajaan telah memperkenalkan pelbagai inisiatif dan dasar dalam mengurangkan pelepasan karbon dalam industri pembinaan. Malaysia komited untuk mengurangkan intensiti pelepasan karbon sebanyak 45% menjelang tahun 2030 berbanding tahap tahun 2005 [6]. Dalam Rancangan Malaysia Ke-12 (2021-2025), kepelbagaian alat penarafan hijau telah diperkenalkan. Antaranya adalah seperti Indeks Bangunan Hijau (GBI) ; Alat Pengurangan Karbon dan Kelestarian Alam Sekitar Malaysia (MyCREST); Green Real Estate (GreenRE), Green Performance Assessment System (GreenPASS), dan Penarafan Hijau Jabatan Kerja Raya (PHJKR) yang biasa digunakan dalam sektor pembinaan di Malaysia [7]. Antara semua alat penilaian, GBI adalah yang paling banyak diterima di Malaysia [8]. GreenRE, GreenPASS, dan MyCREST tidak digunakan secara meluas, mungkin disebabkan oleh peringkat awal pembangunan mereka [9]. Setiap alat penilaian mempunyai amalan pemberat pelepasan karbon operasi dan karbon terbenam yang berbeza. Penilaian prestasi hijau sesebuah bangunan melalui GBI, GreenRE, dan PHJKR tertumpu pada kecekapan tenaga dan pengurangan karbon operasi [10]. Manakala, MyCREST dan GreenPASS yang dikeluarkan oleh Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan (CIDB) lebih menekankan pelepasan karbon terbenam semasa fasa pembinaan dan operasi sepanjang kitaran hayat bangunan [8].

Amalan pengurangan pelepasan karbon terbenam dalam alat penarafan hijau sedia ada di Malaysia berbeza-beza. Perbezaan ini menunjukkan bahawa amalan pengurangan karbon terbenam adalah tidak holistik. Terdapat juga amalan pengurangan karbon terbenam yang tiada dalam alat penarafan hijau seperti pengurangan masa mesen berada dalam mod 'idle' [11] dan adaptasi pembinaan 'lean' [12]. Amalan pengurangan karbon terbenam secara holistik amat penting bagi memastikan pengurangan pelepasan karbon yang efektif secara keseluruhan. Oleh yang demikian, objektif kajian ini adalah untuk mengenal pasti tahap dan amalan pengurangan karbon terbenam dalam projek pembinaan yang holistik.

2. Metodologi

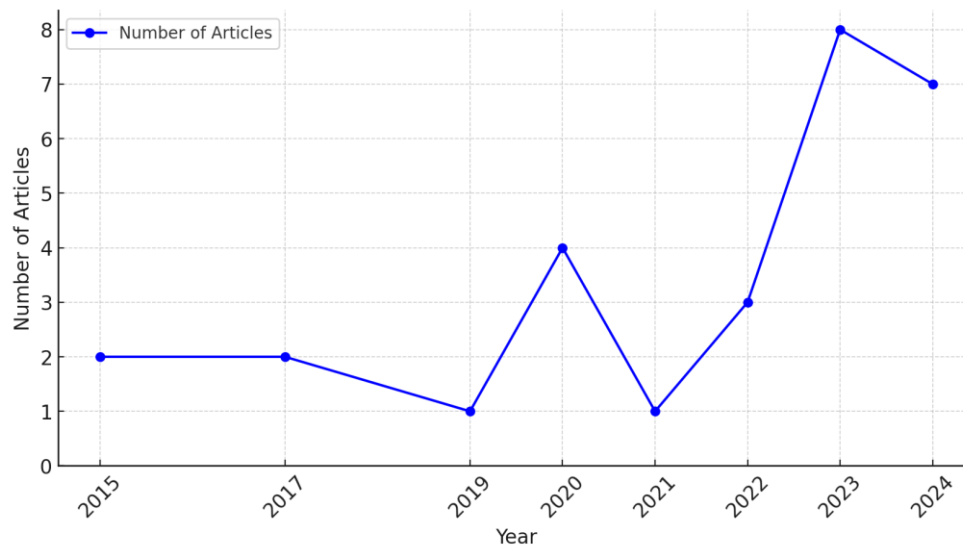
Satu kajian literatur sistematik telah dijalankan menggunakan Rangka Kerja Item Pelaporan Pilihan untuk Kajian Sistematik dan Meta-Analisis (rangka kerja PRISMA) yang merangkumi empat fasa dalam proses untuk mengenal pasti sampel literatur akhir yang ditunjukkan dalam [Rajah 1](#). Pemilihan akhir sampel bahan literatur berjumlah 28 penerbitan yang diterbitkan antara tahun 2015 dan 2025. Penyelidikan ini menggunakan pangkalan data enjin carian Scopus untuk memastikan penyertaan sumber bahan terbitan yang relevan dan berwibawa.



Rajah 1: proses untuk mengenal pasti sampel literatur akhir.

Pencarian artikel jurnal melalui Scopus menggunakan operator Boolean dan kata kunci. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian adalah “embodied carbon” AND “construction”; “carbon footprint” AND “construction”; “carbon” AND “construction” AND “strategies” AND “embodied”. Artikel yang dikenalpasti disaring dengan menilai relevansi artikel tersebut terhadap objektif kajian. Hanya artikel yang dalam bidang pembinaan dan di Malaysia diambilkira.

[Rajah 2](#) menunjukkan bilangan penerbitan mengikut tahun penerbitan. Didapati penerbitan dalam penyelidikan mengenai karbon terbenam dalam pembinaan di Malaysia amat ketara dari tahun 2022 hingga 2024. Peningkatan mendadak ini berkemungkinan besar mencerminkan perubahan dasar dan kemajuan teknologi dalam pengurangan karbon terbenam.



Rajah 2: Trend penerbitan.

3. Amalan karbon terbenam dalam pembinaan

Terdapat empat belas amalan pengurangan karbon terbenam dalam pembinaan. Amalan-amalan ini dikategorikan kepada enam kategori. Kategori tersebut adalah bahan binaan, mesin dan peralatan, sisa pembinaan, kaedah pembinaan, teknologi, dan alat penarafan hijau. Perincian maklumat berkenaan amalan tersebut adalah seperti di [Jadual 1](#).

Jadual 1: Amalan Karbon Terbenam.

Amalan Karbon Terbenam	Diskrepsi	Tahap	Rujukan
Bahan Binaan			
1. Penggunaan bahan binaan karbon rendah	Kajian mendapati tahap penggunaan bahan binaan karbon rendah adalah rendah di Malaysia	Rendah	[13]
	Kajian mendapati tahap penggunaan bahan binaan karbon rendah iaitu sistem acuan keluli dan ‘unfired’ bata adalah tinggi di Malaysia	Tinggi	[14]
2. Menggunakan bahan binaan berasaskan bio	Penggunaan bahan binaan dari buluh di projek pembinaan amat rendah.	Rendah	[14]
	Penggunaan bahan binaan ‘Glue laminated timber’ (GLT) di projek pembinaan adalah amat rendah	Rendah	[15,16]
	Kajian mendapati bahawa penggunaan bahan binaan dari kayu dalam projek pembinaan di Malaysia hanya 5% dari komponen sesebuah bangunan	Rendah	[17]
3. Menggunakan bahan binaan kitar semula	Didapati hanya 33% dari responden kajian menggunakan bahan binaan kitar semula dalam projek pembinaan	Rendah	[18]
	Majoriti responden dari kajian dengan 86.5% didapati tidak menggunakan bahan agregat kitar semula dalam projek pembinaan.	Rendah	[16]
4. Menggunakan semula sisa bahan binaan	Kajian mendapati kebanyakan kontraktor di Lembah Klang, Selangor menggunakan semula sisa bahan binaan dari jenis kayu	Tinggi	[7]

5. Mendapatkan bahan binaan dari tempatan	Kajian mendapati majoriti profesional dalam sektor pembinaan dengan peratusan 76% tidak menggunakan semula sisa bahan binaan.	Rendah	[19]
	Kajian mendapati majoriti kontraktor Grade 6 dan 7 di Semenanjung Malaysia dengan peratusan 92.6% menggunakan semula sisa bahan binaan.	Tinggi	[20]
	Kajian mendapati 67% dari responden yang berjumlah 83 yang merangkumi kepelbagaian pemegang taruh menggunakan bahan binaan dari tempatan	Sederhana	[18]
	Kajian mendapati kebanyakan pemegang taruh dalam sektor pembinaan akan membuat perolehan bahan binaan karbon rendah di luar negara oleh kerana opsyen yang terhad dalam direktori MyHIJAU.	Rendah	[21]
Mesin dan Peralatan Pembinaan			
6. Mengurangkan masa mesin pembinaan dalam mod terbiar	Kajian mendapati sebanyak 44% responden dari pemegang taruh pembinaan mengurangkan masa mesin berjalan dalam mod terbiar di tapak bina	Sederhana	[18]
	Kajian secara kualitatif mendapati hanya 5 dari 96 laporan yang dianalisa mengamalkan pengurangan masa mesin dan peralatan pembinaan berjalan dalam mod terbiar	Rendah	[22]
7. Bahan bakar alternatif mesin pembinaan	Kajian mendapati hanya sekumpulan kecil dengan peratusan 25% pemegang taruh sektor pembinaan menggunakan bahan api alternatif untuk jentera dan peralatan pembinaan.	Rendah	[18]
8. Menggunakan mesin pembinaan elektrik	Kajian mendapati penggunaan jentera pembinaan elektrik masih di peringkat awalan	Rendah	[23]
9. Menggunakan tenaga boleh diperbaharui	Kajian mendapati hanya sekumpulan kecil pemegang taruh sektor pembinaan dengan peratusan 22% menggunakan alat atau mesin berkuasa tenaga boleh diperbaharui di tapak pembinaan.	Rendah	[24,25]
Sisa pembinaan			
10. Mengkitar semula sisa pembinaan dan kerja-kerja perobohan	Kajian mendapati 78% daripada pengurus tapak pembinaan di Selangor mengkitar semula sisa pembinaan di tapak.	Tinggi	[18]
	Kajian mendapati kebanyakan kontraktor di Pahang lebih suka membuang sisa pembinaan di tapak pelupusan sampah daripada dikitar semula.	Rendah	[26]
	Kajian mendapati amalan kitar semula sisa pembinaan di Malaysia masih rendah walaupun kebanyakan pemegang taruh menyedari kepentingan perkara ini.	Rendah	[4,27]
	Menurut Laporan Akhir Kajian Sisa Binaan tahun 2018, sejumlah 271,948 tan sisa binaan telah dihasilkan tetapi hanya 13.7% yang dikitar semula.	Rendah	[28]
	Kajian ini mendapati kesemua lima kajian kes yang dipilih mengamalkan bahan binaan dikitar semula.	Tinggi	[29]
Kaedah Pembinaan			
11. Aplikasi 'Industrialised Building System' (IBS)	Kajian mendapati penggunaan IBS dalam projek pembinaan meningkat daripada tahun 2020 79.5% kepada 84% pada tahun 2021. Manakala projek swasta meningkat dari 41% pada tahun 2020 kepada 60% pada tahun 2021	Tinggi	[30]
	Kajian mendapati penggunaan IBS dalam projek pembinaan di Sarawak masih amat kurang walaupun pelbagai dasar galakkan diperkenalkan	Rendah	[31]
	Kajian mendapati penggunaan IBS digunakan secara meluas di Malaysia	Tinggi	[17]

12. Pembinaan 'lean'	Kajian mendapati pelaksanaan pembinaan 'lean' masih di peringkat awal dan rendah	Rendah	[12,32,33]
Teknologi			
13. Building Information Modelling (BIM)	Kajian mendapati walaupun kadar penerimaan BIM di Malaysia meningkat kepada 55% pada tahun 2021, tetapi penggunaan BIM dalam mengurangkan pelepasan karbon adalah terhad	Rendah	[34,35]
	Kajian mendapati hanya sekumpulan yang kecil dengan peratusan 13% daripada syarikat pembinaan awam dan swasta di Kedah, Melaka, Sabah dan Sarawak menggunakan BIM dalam projek pembinaan	Rendah	[36]
Alat Penarafan Hijau			
14. Penggunaan alat penarafan hijau	Kajian mendapati hanya sekumpulan kecil dengan 5.2% pemegang taruh sektor pembinaan di Lembah Klang menggunakan MyCREST dan 10.3% menggunakan GreenPASS.	Rendah	[8]
	Hanya 4.52% bangunan di Malaysia berdaftar sebagai bangunan hijau	Rendah	[37]
	Kajian menunjukkan penggunaan MyCREST tidak digunakan secara meluas dalam projek pembinaan berbanding dengan alat penarafan hijau GBI	Rendah	[38]

3.1. Bahan binaan

Bahan binaan yang mempunyai karbon terbenam rendah dan berasaskan bio adalah amalan yang disyorkan untuk mengurangkan pelepasan karbon ke persekitaran. Sebagai contoh, konkrit geopolimer (GPC) berpotensi mengurangkan sebanyak 56.02% karbon berbanding dengan konkrit tradisional [39]. Penggunaan bahan kayu sebagai struktur sesebuah bangunan juga mampu merendahkan karbon sebanyak 13%-26% berbanding struktur yang menggunakan tetulang konkrit [40]. Selain dari inovasi bahan pembinaan, penggunaan bahan binaan yang dikitar semula seperti konkrit, agregat, jubin, bumbung, kayu, dan keluli juga antara amalan merendahkan pelepasan karbon terbenam [41].

Penggunaan agregat kitar semula membantu mengurangkan pelepasan karbon sebanyak 39.57% [42]. Begitu juga dengan bahan binaan dari kayu seperti acuan konkrit dan papan lapis yang boleh digunakan semula sehingga 30 kali [43]. Antara bahan lain adalah seperti tingkap dan kaca [43]. Penggunaan semula kesemua bahan binaan ini dijangka boleh merendahkan pelepasan karbon sebanyak 6.2% [43]. Akhirnya, dengan mengurangkan pelepasan karbon terbenam dari aspek pengangkutan boleh dicapai dengan melaksanakan perolehan bahan binaan dari tempatan dan lokasi yang berhampiran dengan tapak pembinaan. Sebagai contohnya, kajian mendapati pengurangan pelepasan karbon terbenam adalah 20% apabila menggunakan tanah liat marin yang dikalsinasi dan sisa serbuk kaca yang terbuang dalam pembuatan konkrit [44].

3.2. Mesin dan peralatan pembinaan

Penggunaan tenaga dan bahan api oleh mesin dan peralatan pembinaan melepaskan sejumlah besar karbon ke persekitaran. Antara amalan yang boleh mengurangkan pelepasan karbon terbenam adalah dengan mengurangkan 50% masa mesin berjalan dalam mod terbiar [45]. Kajian ini mendapati amalan ini mengurangkan sebanyak 2.54% pelepasan karbon.

Penggunaan biodiesel merupakan bahan api yang lestari dan boleh menjadi pengganti bahan api fosil atau dicampurkan dengan diesel konvensional [46]. Penggunaan biodiesel minyak masak terpakai

kategori B5 dalam jentera mudah alih menghasilkan pengurangan karbon sebanyak 3.7% dalam berbanding dengan mesin yang menggunakan diesel.

Selain itu, mesin yang berasaskan elektrik turut menjadi amalan yang mengurangkan pelepasan karbon terbenam. Pengoperasian mesin dari elektrik yang berasaskan tenaga boleh diperbaharui seperti elektrik yang dijana oleh tenaga solar dan angin [47]. Perkara ini disokong dimana telah terbukti oleh Wu et al., [48] bahawa 13 daripada 30 mesin pembinaan yang berasaskan tenaga boleh diperbaharui berjaya merendahkan pelepasan karbon terbenam ke persekitaran.

3.3. Pengurusan sisa pembinaan,

Laporan Akhir Kajian Sisa Binaan 2018 oleh CIDB melaporkan terdapat sebanyak 271,984 tan sisa dari pembinaan dan kerja-kerja perobohan di Malaysia [27]. Sisa binaan yang lazim adalah bahan binaan dari kayu, logam, konkrit, bata, bahan plastik, asphalt, aluminium, kaca, kertas dan kadbod. Kitaran semula hasil sisa binaan ini membolehkan pengurangan pelepasan karbon yang signifikan oleh kerana kurangnya keperluan untuk mengekstrak bahan mentah yang baru untuk penghasilan bahan binaan yang baru. Pertemuan ini disokong oleh satu kajian kes dimana projek pembinaan mencapai pengurangan 45% pelepasan karbon hanya dengan kitar semula bahan binaan aluminium dalam projek pembinaan [49].

3.4. Kaedah pembinaan,

Kaedah pembinaan moden seperti IBS dan Pembinaan Lean boleh digunakan dalam pembinaan bangunan untuk mengurangkan pelepasan karbon. IBS adalah kaedah pembinaan inovatif yang melibatkan pengeluaran komponen struktur bangunan di luar tapak, yang kemudiannya diangkut dan dipasang di tapak pembinaan. Penemuan kajian mendapati penggunaan IBS dalam projek pembinaan mengurangkan sebanyak 31.94% pelepasan karbon [50]. Pembinaan lean pula adalah kaedah pembinaan moden yang mengamalkan prinsip memaksimumkan nilai dan mengurangkan pembaziran dalam projek pembinaan [51]. Kajian mendapati kaedah pembinaan lean mampu mengurangkan sebanyak 25% pelepasan karbon berbanding kaedah pembinaan tradisional [52].

3.5. Teknologi

Aplikasi teknologi dalam industri pembinaan boleh membantu dalam merancang pengurangan pelepasan karbon. Sebagai contohnya, aplikasi ‘Building Information Modelling’ (BIM) boleh menganalisa karbon terbenam dalam pemilihan bahan binaan hijau. Kebanyakan faedah yang boleh dilihat apabila menggunakan BIM adalah lebih kepada pengurangan karbon operasi seperti analisis pencahayaan, dan pengoptimuman penggunaan tenaga operasi [53]. Namun, BIM boleh diintegrasikan bersama aplikasi lain untuk membantu membuat analisa pengiraan pelepasan karbon. Antara contoh yang boleh dirujuk adalah dengan menggabungkan perisian ‘Carbon Life Calculation’ bersama Autodesk Revit [54]. Hasil dapatan kajian menemukan terdapat pengurangan sebanyak 58.12%

3.6. Alat penarafan hijau

Alat penarafan hijau yang mempunyai elemen menilai amalan karbon terbenam yang lazim digunakan adalah MyCREST. Penggunaan alat ini menjadi mandatori untuk projek pembinaan kerajaan yang melebihi RM50 juta [55]. Kajian kes yang menggunakan MyCREST mendapati bahawa pelepasan karbon projek dapat dikurangkan dengan amaun yang signifikan melalui penggunaan bahan binaan hijau seperti campuran konkrit BFS, blok AAC dan struktur keluli kitar semula [56].

4. Kesimpulan

Kajian ini telah mengenal pasti 14 amalan mengurangkan karbon terbenam dalam projek pembinaan di Malaysia. Amalan ini dikategorikan kepada enam kategori iaitu bahan binaan, mesin dan peralatan, sisa pembinaan, kaedah pembinaan, teknologi, dan alat penarafan hijau. Tinjauan literatur sistematik mendapati amalan-amalan ini secara keseluruhannya masih di tahap rendah. Walaubagaimanapun, terdapat juga kajian-kajian yang tidak konsisten dan bertentangan seperti amalan menggunakan bahan binaan, kaedah pembinaan dan pengurusan sisa pembinaan dimana ada kajian menemukan yang amalan ini adalah tinggi manakala kajian lain menemukan amalan ini adalah rendah. Kajian ini telah mengenalpasti amalan mengurangkan karbon terbenam yang lebih holistik. Hasil kajian ini menyumbang kepada pembangunan pelan yang lebih strategik dalam menilai amalan pengurangan karbon terbenam di sektor industri pembinaan. Penemuan ini juga boleh dijadikan sebagai asas rujukan untuk memperbaiki dasar yang sedia ada bagi mencapai pengurangan pelepasan karbon yang lebih menyeluruh.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para pengarang menyatakan bahawa tiada konflik kepentingan dengan mana-mana pihak lain dalam penerbitan karya ini.

Penghargaan

Saya ingin merakamkan penghargaan kepada Pusat Pengajian Perumahan, Bangunan dan Perancangan, Universiti Sains Malaysia, semua organisasi dan individu yang terlibat secara langsung dan tidak langsung dalam memberikan kerjasama dan input yang bernas bagi menyiapkan penyelidikan ini. Penyelidikan ini tidak dibiaya oleh mana-mana pihak.

Rujukan

- [1] United Nations, 2021 Global Status Report for Buildings and Construction, Switzerland, 2021. <https://globalabc.org/resources/publications/2021-global-status-report-buildings-and-construction>.
- [2] Y. Yuan, M. Qu, Q. Li, and M. Umer, Analysis of the non-equilibrium and evolutionary driving forces of carbon emissions in China's construction industry, *Journal of Building Engineering* 97 (2024) 110834. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110834>.
- [3] N.S.A. Rahim, S. Ismail, C. Subramaniam, S.N.H. Abdullah Habib, and S. Durdyev, Building Information Modelling Strategies in Sustainable Housing Construction Projects in Malaysia, *Sustainability* 15 (2023) 2313. <https://doi.org/10.3390/su15032313>.
- [4] P.X. Wong, and S.N.A. Roslan, Construction and Demolition Waste Management IN Malaysian Construction Industry – Concrete Waste Management, *Infrastructure University Kuala Lumpur Research Journal* 7 (2019) 26–41.
- [5] H. Ritchie, and M. Roser, Malaysia: CO2 Country Profile, *Our World in Data* (2023). <https://ourworldindata.org/co2/country/malaysia> (accessed March 31, 2025).
- [6] United Nations, Nationally Determined Contribution (NDC): Malaysia Climate Promise, United Nations Development Programme (2023). <https://climatepromise.undp.org/what-we-do/where-we-work/malaysia> (accessed March 31, 2025).
- [7] S. Hamid, M. Isa, S. Felix, and N.K. Mustaffa, Sustainable Management using Recycle and Reuse of Construction Waste Materials in Malaysia, *ESTEEM Academic Journal* 16 (2020) 47–58.

- [8] R. Razman, S.T. Khaw, N.I.F. Md Noh, J.L. Ng, A.Z. Abd Wahid, and M.N. Yasin, Readiness of Malaysia's construction industry in adopting green building rating tools, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1205 (2023) 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1205/1/012031>.
- [9] C.C. Ohueri, M.A. Masrom, J.A. Bamgbade, and W.I. Enegbuma, The Green BIM Process Model for Efficient Information Exchange in Sustainable Building Design (2023). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3134091/v1>.
- [10] A. Abdullah, L. Mohamed Yusof, and R. A. Rahman, Indicators, Challenges and Strategies in Implementing Net-Zero Carbon Construction Projects, *Planning Malaysia* 22 (2024). <https://doi.org/10.21837/pm.v22i32.1509>.
- [11] N.K. Mustaffa, and M.F.H. Abdul Aziz, Minimizing Emissions and Cost Through Reducing Equipment Idle Time in Concreting Operations, in: Springer, 2020: pp. 139–150. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1910-9_12.
- [12] M. Ahmed, and L. Wong, The Barriers of the Implementation of lean Construction in Klang Valley, Malaysia, in: - *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020: p. 012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012043>.
- [13] C.Y. Ha, T.J. Khoo, and Z.Y. Koo, Current Status of Green Building Development in Malaysia, *Progress in Energy and Environment* 25 (2023) 1–9. <https://doi.org/10.37934/progee.25.1.19>.
- [14] M. Chan, Md.A.N. Masrom, and S.S. Yasin, Selection of Low-Carbon Building Materials in Construction Projects: Construction Professionals' Perspectives, *Buildings* 12 (2022) 486. <https://doi.org/10.3390/buildings12040486>.
- [15] A.T. Balasbaneh, and A.K. Bin Marsono, Strategies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Residential Sector by Proposing New Building Structures in Hot and Humid Climatic Conditions, *Building and Environment* 124 (2017) 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.025>.
- [16] M.R. Omar, A. Ayob, M.H. Zakaria, N.S.A. Rahim, H. Mokhtar, H.A. Rani, and F.A. Rahman, Perspective of Construction Building Professionals on Low-Carbon Materials in Malaysia, *Journal of Construction in Developing Countries* 28 (2023) 139–162. <https://doi.org/10.21315/jcdc-04-22-0081>.
- [17] A.K. Bin Marsono, and A.T. Balasbaneh, Combinations of building construction material for residential building for the global warming mitigation for Malaysia, *Construction and Building Materials* 85 (2015) 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.083>.
- [18] N.K. Mustaffa, C.M. Mat Isa, D. Ekundayo, and V.R.A. Joseph, Barriers and Strategies for Improving Carbon Emissions Management Approaches in Malaysian Construction, *Construction Economics and Building* 22 (2022). <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v22i3.7909>.
- [19] M. Chan, Md.A.N. Masrom, and S.S. Yasin, Selection of Low-Carbon Building Materials in Construction Projects: Construction Professionals' Perspectives, *Buildings* 12 (2022) 486. <https://doi.org/10.3390/buildings12040486>.
- [20] W.N. Osman, M.N.M. Nawawi, R. Saad, and R. Ismail, Factors Affecting Systematic Implementation of Reduce and Recycle in Construction Industry, *International Journal of Supply Chain Management* 6 (2017) 270–278.
- [21] A. Ismail, N. Khaliil, S. Islamiah, and H.N. Husin, Strategies to Enlarge the Market Availability of Green Building Materials (GBM) for Construction Works: Gathering the “Low-Hanging Fruits,” *Research in Management of Technology and Business* 4 (2023) 1374 – 1387. <https://doi.org/10.30880/rmtb.2023.04.01.095>.
- [22] Z. Ghazali, and M. Zahid, Environmental sustainability: Carbon Emission Reduction Strategies and Reporting among Malaysian Construction Companies, in: 2015 International Symposium on Technology Management and Emerging Technologies (ISTMET), IEEE, 2015: pp. 417–421. <https://doi.org/10.1109/ISTMET.2015.7359070>.
- [23] X. Huang, W. Yan, H. Cao, S. Chen, G. Tao, and J. Zhang, Prospects for Purely Electric Construction Machinery: Mechanical Components, Control Strategies and Typical Machines, *Autom Constr* 164 (2024) 105477. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105477>.

- [24] N.K. Mustaffa, C.M. Mat Isa, D. Ekundayo, and V.R.A. Joseph, Barriers and Strategies for Improving Carbon Emissions Management Approaches in Malaysian Construction, *Construction Economics and Building* 22 (2022). <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v22i3.7909>.
- [25] A. Haruna, N. Shafiq, M.O. Ali, M. Mohammed, and S. Haruna, Design and Construction Technique for Low Embodied Energy Building: An Analytical Network Process Approach, *Journal of Engineering and Technological Sciences* 52 (2020) 166–180. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.2.3>.
- [26] Ts.S.D.S.N.A. Mohd Noor, M.S. Holekusuairi, D.L.A.W. Ab Wahab, Dr.I.F. Mohd Kamar, and Ts.S.M.K.A. Ramly, Identifying the Initiatives of Construction Waste Management in Malaysia towards achieving Sustainable Construction, *Construction* 3 (2023) 130–134. <https://doi.org/10.15282/construction.v3i1.9462>.
- [27] H. Ibrahim, N. Jamaluddin, E. Hussein, and W.N. Muhammad, Towards Achieving Zero Wastage Material IN Construction Industry, *Jurnal Penyelidikan Sains Sosial* 6 (2023) 89–101.
- [28] S. Kahthiravale, S. Kiyyappa, N.M.S. Ismail, M.K. Ghani, K.N.A. Bashah, Z. Abd Hamid, and H.R. Ibrahim, Stainable Waste Management Practices for the Construction Industry, *The Ingenieur* 82 (2020) 36–46.
- [29] C.H. Lim, and N. Norazman, Construction Waste Management Strategies Towards Sustainable Practices in Malaysia, *Journal of Advanced Research Design* 121 (2024) 22–32. <https://doi.org/10.37934/ard.121.1.2232>.
- [30] H. Masram, A.M. Yassin, H. Shafii, and P. Murugappah, Challenges in the Implementation of Industrialised Building System (IBS) in Klang Valley, *MATEC Web of Conferences* 397 (2024) 01001. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439701001>.
- [31] M.S.B. Samsi, M.F. Zainuddin, F.M. Yop Zain, M.T. Saidin, M.E. Mamat, and Z. Zainal Abidin, The Readiness and Challenges in The Industrialised Building System (IBS) Adoption in Sarawak from G7 Contractors’ Perspective, *Malaysian Journal of Sustainable Environment* 11 (2024) 45–60. <https://doi.org/10.24191/myse.v11i1.985>.
- [32] Z. Morshidi, M.K.F. Othman, and M. Bohari, A. Asmah, Awareness and Adoption of Lean Construction Tools to Enhance Safety in Construction Projects, *International Journal of Service Management and Sustainability* 7 (2022) 1–20. <https://doi.org/10.24191/ijsms.v7i2.19938>.
- [33] M.E.A. Mohammed Ahmed, A Review on the Strategies of Lean Planning in Malaysia Construction Industry, *Current Trends in Civil & Structural Engineering* 9 (2023). <https://doi.org/10.33552/CTCSE.2023.09.000714>.
- [34] K. Dziekonski, F. Mascarenhas, A.M. Mahamadu, and P. Manu, Investigation into the Key Barriers to Achieving UK “Construction 2025” Strategy Targets, *Engineering Management in Production and Services* 15 (2023) 116–127. <https://doi.org/10.2478/emj-2023-0032>.
- [35] F. Razali, and H. Anuar, Adopting Building Information Modelling (BIM) Strategies among Architects, Engineers, and Contractors (AEC) in Malaysia Construction Industry, *International Journal of Business and Technology Management* 6 (2024) 1–15.
- [36] I. Othman, Y.Y. Al-Ashmori, Y. Rahmawati, Y.H. Mugahed Amran, and M.A.M. Al-Bared, The level of Building Information Modelling (BIM) Implementation in Malaysia, *Ain Shams Engineering Journal* 12 (2021) 455–463. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.007>.
- [37] C.Y. Ha, T.J. Khoo, and Z.Y. Koo, Current Status of Green Building Development in Malaysia, *Progress in Energy and Environment* 25 (2023) 1–9. <https://doi.org/10.37934/progee.25.1.19>.
- [38] W.H. Lam, C.F. Wong, O.K. Tan, and B.H. Yap, Study on the Benefits of the Implementation of Green Building Rating in Malaysia, *The Journal of The Institution of Engineers Malaysia* 85 (2024). <https://doi.org/10.54552/v85i1.226>.
- [39] A.A. Setiawan, H. Hardjasaputra, and R. Soegiarso, Embodied Carbon Dioxide of Fly Ash based Geopolymer Concrete, *OP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1195 (2023) 012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012031>.

- [40] M. Robati, P. Oldfield, A.A. Nezhad, D.G. Carmichael, and A. Kuru, Carbon Value Engineering: A Framework for Integrating Embodied Carbon and Cost Reduction Strategies in Building Design, *Building and Environment* 192 (2021) 107620. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107620>.
- [41] S. Arogundade, M. Dulaimi, and S. Ajayi, Exploring the Challenges Impeding Construction Process Carbon Reduction in the UK, *International Journal of Construction Management* 24 (2024) 422–431. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2257512>.
- [42] I. Bampanis, and C. Vasilatos, Recycling Concrete to Aggregates. Implications on CO2 Footprint, in: *RawMat 2023*, MDPI, Basel Switzerland, 2023: p. 28. <https://doi.org/10.3390/materproc2023015028>.
- [43] T. Kumari, U. Kulathunga, T. Hewavitharana, and N. Madusanka, Embodied Carbon Reduction Strategies for High-Rise Buildings in Sri Lanka, *International Journal of Construction Management* 22 (2022) 2605–2613. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1814939>.
- [44] Z. Zhang, Y. Lei, J.Y.R. Liew, M. Liu, G. Wong, and H. Du, Embodied Carbon Saving Potential of using Recycled Materials as Cement Substitute in Singapore’s Buildings, *Npj Materials Sustainability* 2 (2024) 27. <https://doi.org/10.1038/s44296-024-00032-w>.
- [45] W. Luo, M. Sandanayake, and G. Zhang, Direct and Indirect Carbon Emissions in Foundation Construction – Two Case Studies of Driven Precast and Cast-in-situ Piles, *Journal of Cleaner Production* 211 (2019) 1517–1526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.244>.
- [46] Y. Zhu, and H. Fan, Use of Biodiesel in Non-Road Mobile Machineries for Low-Carbon Construction: Policy Review and Lifecycle Analysis, *Journal of Cleaner Production* 421 (2023) 138543. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138543>.
- [47] V.R. Joseph, and N.K. Mustaffa, Carbon Emissions Management in Construction Operations: A Systematic Review, *Engineering, Construction and Architectural Management* 30 (2023) 1271–1299. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2021-0318>.
- [48] W. Wu, P. Sun, and H. Zhou, The Case Study of Carbon Emission in Building Construction Process, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 371 (2019) 022011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/371/2/022011>.
- [49] J. Wang, H. Wu, H. Duan, G. Zillante, J. Zuo, and H. Yuan, Combining life cycle assessment and Building Information Modelling to Account for Carbon Emission of Building Demolition Waste: A Case Study, *Journal of Cleaner Production* 172 (2018) 3154–3166. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.087>.
- [50] S.N.S. Zaini, Nadia, Ibrahim, Siti Halipah, Darmansah, Nur Fadilah, Razali, Abdul Wafi, Tamjehi, Sitti Diana, Zaini, Afzan Ahmad, Hamza, Hasmi, and Sahimi, Energy Consumption Assessment on Industrialised Building System (IBS), *Malaysian Construction Research Journal* 32 (2020) 51–57.
- [51] M.S. Pejić, I. Peško, M. Petrović, V. Mučenski, M. Terzić, and D. Stanojević, Reduction OF Carbon Emissions IN The Construction Industry USING Lean Practices, in: *Proceedings of the Creative Construction Conference 2023*, Budapest University of Technology and Economics, Online, 2023: pp. 608–615. <https://doi.org/10.3311/CCC2023-079>.
- [52] C.-C. Osorio-Gómez, W.-M. León-Daza, A.-F. Moggio-Bessolo, A. Ospina-Alvarado, and J.-L. Ponz-Tienda, Lean Construction Impact on the Environmental Footprint of a Construction Project in Colombia: A Case Study, in: *Construction Research Congress 2020*, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2020: pp. 379–387. <https://doi.org/10.1061/9780784482889.040>.
- [53] N.N. Myint, and M. Shafique, Embodied Carbon Emissions of Buildings: Taking a Step Towards Net Zero Buildings, *Case Studies in Construction Materials* 20 (2024) e03024. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03024>.
- [54] F. Abdullah, and N.S. Safa, BIM-Based Approach to Reduce GHG Emissions in Construction, *American Journal of Civil Engineering* (2024). <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20241201.11>.
- [55] A.Y. Bahaudin, E. Elias, M.N.M. Naw, and N. Zainuddin, Construction Sustainability & Awareness amongst Contractors in the Northern Region of Malaysia, *International Journal of Supply Chain Management* 6 (2017) 259–264.

- [56] N. Yaman, and A.F. Rashid, The Potential of Carbon Footprint Reduction of a Mid-Rise Residential Building in Sarawak, Built Environment Journal 18 (2021).