

Kajian Penggunaan Teknologi IR 4.0 dalam Pengurusan Sisa Pepejal bagi Kerja Pembinaan di Tapak Bina

Aina Azwa Aminuddin¹ & Mohd. Hilmi Izwan Abd Rahim^{1,*}

¹Jabatan Pengurusan Pembinaan, Fakulti Pengurusan Teknologi dan Perniagaan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Batu Pahat, Johor 86400, MALAYSIA

*Corresponding Author

DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2023.04.01.087>

Received 31 March 2023; Accepted 30 April 2023; Available online 1 June 2023

Abstract: Previous studies shown the potential of ICT or technology that has been brought by Industrial Revolution (IR) 4.0 in order to improve waste management. The variety of technology can be taken as a study for a variety of waste management as a solution to a sustainable level. Ineffective construction waste management could bring a negative impact towards surroundings as well as human beings. Besides, construction waste management still using the conventional practices which will affect the time taken for the waste management. Two objectives had been designed which are to study the challenges towards the usage of technology IR 4.0 in a way to assist waste management in a construction site and to identify methods of improvement with the use of technology IR 4.0 in order to reduce construction waste. The research scope for this study is focusing on contractor grade G7 around Johor state. 248 respondents had been chosen through Krejcie & Morgan (1970) sampling method. Research method for this study is quantitative method through questionnaire form. Next, the Statistical Science Social Package (SPSS) had been used to analyse data. Descriptive analysis including min score was needed to determine the challenges and methods of improvement with the use of technology IR 4.0 in a way to assist waste management in a construction. Research findings shown that the challenges towards the usage of technology IR 4.0 in a way to assist waste management can be overcome with the suitable applications of methods of improvement for construction waste. In conclusion, study of utilization of technology IR 4.0 for construction waste management in a construction site can be a guideline for more effective and efficient construction waste management in the near future.

Keywords: Technology IR 4.0, Construction waste management

Abstrak: Kajian lepas menunjukkan potensi ICT yang dibawa oleh Revolusi Industri (IR) 4.0 dalam memperbaiki pengurusan sisa pepejal. Kepelbagaian ICT ini di boleh diambil untuk mengkaji pelbagai jenis pengurusan sisa pepejal sebagai satu solusi untuk mencapai tahap kelestarian. Pengurusan sisa pepejal yang tidak efektif telah memberi impak yang negatif kepada alam sekitar dan manusia. Disamping itu, amalan

pengurusan sisa pepejal pembinaan yang masih menggunakan kaedah konvensional menyebabkan tempoh pengurusannya memakan masa yang lama. Dua objektif telah di reka bentuk iaitu untuk mengkaji cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan, dan mengenalpasti langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan. Skop kajian ini berfokuskan kepada kontraktor bergred G7 yang berada di sekitar negeri Johor. 248 responden dipilih melalui kaedah persampelan Krejcie & Morgan (1970). Kaedah kajian yang digunakan untuk menjalankan kajian ini ialah kaedah kuantitatif melalui borang soal selidik. Seterusnya, perisian Statistical Science Social Package (SPSS) digunakan untuk menganalisis data. Analisis deskriptif termasuk skor min diperlukan untuk menentukan cabaran dan langkah-langkah penggunaan teknologi IR 4.0 terhadap pengurusan sisa pepejal pembinaan. Hasil kajian menunjukkan cabaran terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam pengurusan sisa pepejal pembinaan boleh diatasi dengan mengaplikasikan langkah-langkah pengurusan sisa pepejal binaan yang sesuai. Kesimpulannya, kajian penggunaan teknologi IR 4.0 dalam pengurusan sisa pepejal pembinaan di tapak pembinaan mampu menjadi panduan kepada pengurusan sisa pepejal pembinaan yang lebih efektif dan efisien di masa akan datang.

Kata Kunci: Teknologi IR 4.0, Pengurusan sisa pepejal pembinaan

1. Pengenalan

Industri pembinaan merupakan antara salah satu penyumbang yang besar kepada pembangunan di negara Malaysia. Secara tidak langsung, pembangunan industri pembinaan memberi kesan yang positif kepada pembangunan ekonomi negara. Namun begitu, industri pembinaan memberi kesan yang negatif kepada alam sekitar dan manusia, sekiranya pengurusan sisa pepejal pembinaan dan perobohan pembinaan tidak diselenggarakan dengan efektif dan efisien. Buktinya, industri pembinaan menggunakan sumber dan bahan asli yang banyak tetapi masih mengeluarkan sisa pepejal pembinaan dengan jumlah yang banyak (Luca *et al.*, 2020). Oleh kerana pembangunan bandar dan pembangunan industri di dunia yang pesat, sisa pepejal mencecah 2.01 ratus juta tan metrik dalam masa setahun dan dijangka meningkat kepada 3.40 ratus juta tan metrik dalam masa setahun pada tahun 2050 (Ratnasabapathy *et al.*, 2019).

Arah aliran pendigitalan, automasi dan peningkatan penggunaan teknologi Informasi dan Komunikasi (ICT) telah menjadi konsep utama kepada Revolusi Industri (IR) 4.0 (Alaloul *et al.*, 2019). Kajian lalu menunjukkan potensi kepelbagaian ICT yang dibawa oleh Revolusi Industri (IR) 4.0 dalam memperbaiki pengurusan sisa pepejal (Jin *et al.*, 2019). Kepelbagaian ICT ini di ambil untuk mengkaji pelbagai jenis pengurusan sisa pepejal sebagai satu solusi untuk mencapai tahap kelestarian (Ratnasabapathy *et al.*, 2019). Revolusi bukan sahaja melambangkan teknik moden yang menjadi penyokong kepada semua komponen di dalam industri bahkan sebagai salah satu komponen yang mewujudkan kelestarian (Alaloul *et al.*, 2019). Kini, kelestarian merupakan salah satu agenda yang ingin dicapai bagi memberi kesejahteraan hidup kepada masyarakat.

Pengurusan sisa pepejal pembinaan memberi kesan negatif kepada alam sekitar dan juga manusia. Industri pembinaan di seluruh dunia menyumbang sebanyak satu pertiga sisa pepejal iaitu 30% hingga 40% daripada jumlah keseluruhan sisa pepejal yang dihasilkan (Ratnasabapathy *et al.*, 2019). Tambahan pula, pencemaran udara yang berlaku akibat daripada pengurusan sisa pepejal yang tidak sistematik memberi kesan kepada kesihatan penduduk sekitar kawasan pembinaan tersebut. Justeru, kajian potensi teknologi IR 4.0 terhadap pengurusan sisa pepejal bagi kerja pembinaan dan perobohan dibuat bagi

mencari solusi terhadap permasalahan tersebut. Akibat daripada masalah ini, terdapat kesan negatif kepada alam sekitar akan berlaku seperti pencemaran udara kerana peningkatan kadar konsentrasi bahan zarah dan aerosol, sekiranya sisa pepejal pembinaan tidak diuruskan dengan baik (Swarna *et al.*, 2021). Hasil daripada pernyataan masalah tersebut jelas menunjukkan peningkatan sisa pepejal pembinaan meningkat dari hari ke hari dan tahun ke tahun. Justeru, kajian ini melihat potensi teknologi IR4.0 sebagai satu solusi terhadap pengurangan penjanaan sisa pepejal pembinaan khususnya di Malaysia. Oleh itu, objektif kajian ini adalah untuk mengkaji cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan, dan untuk mengenalpasti langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan.

Kajian ini lebih berfokuskan kepada penggunaan teknologi IR 4.0 terhadap pengurusan sisa pepejal bagi kerja pembinaan di tapak bina di negeri Johor. Kajian ini dijalankan bagi menjawab segala persoalan yang timbul berdasarkan objektif kajian. Kajian ini hanya berfokuskan di sekitar Negeri Johor sahaja. Ini adalah kerana, Negeri Johor merupakan antara negeri tertinggi yang padat membangun dengan kerja-kerja projek pembinaan. Menurut Data Asas Ekonomi 2021, negeri Johor merupakan penyumbang tertinggi kepada sisa pepejal di Malaysia. Manakala, responden bagi kajian ini memfokuskan kepada pemain industri pembinaan iaitu kontraktor Gred 7 yang berdaftar dengan Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan (CIDB). Hal ini kerana, projek yang dikendalikan oleh kontraktor Gred 7 adalah kerja-kerja pembinaan berskala besar. Data-data yang diperoleh akan dikumpulkan untuk mengetahui keberkesanan potensi teknologi terhadap pengurusan sisa pepejal bagi kerja pembinaan dan perobohan. Oleh itu, responden bagi kajian ini ialah kontraktor Gred 7. Populasi kontraktor Gred 7 yang telah berdaftar dengan Lembaga Pembangunan Industri Pembinaan (CIDB) di Johor adalah seramai 708 orang. Menurut jadual untuk menentukan saiz sampel oleh *Krejcie & Morgan (1970)*, sampel bagi kajian ini ialah seramai 248 orang responden.

Kajian ini memberi kepentingan kepada pengurusan sisa pepejal pembinaan yang lebih efisien, teratur dan dapat mengurangkan penjanaan sisa pepejal pembinaan khususnya di Malaysia. Oleh itu, kelestarian dapat dibentuk kerana penjanaan sisa pepejal dapat dikurangkan melalui teknologi IR 4.0 yang berkesan. Secara tidak langsung, ianya mampu memberi kesejahteraan kehidupan kepada manusia dan juga pencemaran alam sekitar dapat dikurangkan.

2. Kajian Literatur

Kajian literatur merupakan ringkasan penulisan yang penting bagi menjelaskan objektif kajian atau persoalan kajian melalui kajian-kajian lepas. Kajian literatur membantu pengkaji menjelaskan serta menerangkan persoalan kajian berasaskan fakta, huraian bagi kejadian yang sebenar dan contoh.

2.1 Cabaran yang dihadapi teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan adalah seperti yang berikut:

(a) *Penjanaan Sisa Pepejal Pembinaan yang Berterusan*

Penjanaan sisa pepejal pembinaan secara berterusan adalah kerana berkemungkinan projek tersebut merangkumi kawasan yang luas dan berskala besar. Oleh hal yang demikian, kontraktor sukar untuk mengawal penjanaan sisa pepejal pembinaan (Suddin & Mohd Nawi, 2015).

(b) *Pengendalian Sisa Binaan yang Tidak Efektif*

Perkhidmatan pengangkutan untuk melupuskan sisa pembinaan menjadi salah satu masalah

terutamanya kepada kontraktor kelas rendah kerana terpaksa memperuntukkan kos yang tinggi (Suddin & Mohd Nawi, 2015).

(c) Kos yang Tinggi bagi Penggunaan Teknologi

Kos merupakan salah satu isu yang menyebabkan pembuangan haram sisa pepejal pembinaan. Seberang Perai, Pulau Pinang dan Johor diantara tempat atau negeri yang terdapat banyak tapak pelupusan haram bagi sisa pepejal iaitu disepanjang kawasan jalan raya (Janari *et al.*, 2020).

(d) Pelepasan Gas Toksik dan Kesan Negatif Kepada Alam Sekitar

Penggunaan teknologi memberi kesan kepada alam sekitar disebabkan oleh pelepasan gas toksik ke udara yang seterusnya menjadi penyumbang kepada pelepasan gas rumah hijau (Janari *et al.*, 2020).

(e) Kekurangan Pengetahuan dalam Urusan Pengendalian Teknologi

Menurut Janari *et al.*, (2020), kekurangan pengetahuan dalam urusan pengendalian teknologi merupakan salah satu cabaran dalam penggunaan teknologi baharu.

(f) Kurang Menggunakan Teknologi yang Terkini

Kekurangan data lama sisa pepejal binaan, laporan sisa pepejal binaan yang tidak konsisten, anggaran penjanaaan sisa pepejal yang tidak tepat, dan kekurangan *platform* untuk memperkenalkan bahan sisa pepejal yang dikitar semula untuk digunakan semula merupakan cabaran dalam penggunaan teknologi yang terkini (Ratnasabapathy *et al.*, 2019).

(g) Kekurangan Tenaga Mahir untuk Menguruskan Teknologi IR 4.0

Menurut Bayode *et al.*, (2019) kekurangan tenaga mahir terutamanya di dalam bidang yang berkaitan teknologi tinggi seperti ICT dan kejuruteraan menjadi salah satu cabaran terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam pengurusan sisa pepejal binaan seperti di negara Afrika Selatan.

(h) Ancaman Terhadap Sekuriti Siber

Ancaman terhadap sekuriti siber merupakan salah satu cabaran terhadap penggunaan teknologi IR 4.0. Menurut Bayode *et al.*, (2019), fungsi utama teknologi IR 4.0 adalah perkongsian data dan kesalinghubungan. Justeru, kebarangkalian untuk menerima ancaman siber dan pencurian maklumat adalah tinggi.

2.2 Langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan adalah seperti yang berikut:

(a) Konsep 3R Seperti Smart Dustbin

Konsep 3R bermaksud pengurangan sisa (reduce), penggunaan semula (reuse), dan juga kitar semula bahan (recycle). Hal ini kerana konsep 3R mampu mengurangkan penjanaaan sisa pepejal dan juga mengurangkan kesan kepada alam sekitar (Suddin & Mohd Nawi, 2015).

(b) Menggunakan Sistem IBS

Sistem IBS merupakan sistem pembinaan iaitu komponen dihasilkan di kilang dan dipasang ditapak pembinaan dengan menggunakan jumlah tenaga kerja yang sedikit (Shareh Musa *et al.*, 2019).

(c) Penggunaan Teknologi Baharu seperti Imej 3 Dimensi (3D), 3D Printing, Simulasi 4 Dimensi (4D), Building Information Modelling (BIM), Drones, Virtual Reality, dan Augmented Reality dalam

Pengurusan Sisa Pepejal Pembinaan

Walaupun penggunaan teknologi baharu di dalam industri pembinaan agak perlahan, tetapi penggunaan teknologi dan inovasi dianggarkan mampu meningkatkan kualiti sektor pembinaan. Penggunaan alat baharu seperti imej 3 dimensi (3D), 3D printing, simulasi 4 dimensi (4D), building information modelling (BIM), drones, virtual reality, dan augmented reality merupakan teknologi yang berpotensi dan diamalkan untuk pengurusan sisa pepejal pembinaan (Kim *et al.*, 2021).

(d) Kitar Semula Sisa Pepejal Pembinaan dan Perobohan

Melalui dua kaedah iaitu cukai dikenakan untuk penggunaan bahan-bahan binaan yang baru dan menghapuskan subsidi bagi penggunaan bahan-bahan binaan yang baru merupakan antara inisiatif yang boleh digunakan bagi menggalakkan penggunaan sisa pepejal pembinaan dan perobohan bagi aktiviti pembinaan yang baru (Shoostarian *et al.*, 2021).

(e) Penggunaan Teknologi Artificial Intelligence (AI) Melalui Kaedah Waste Analytics (WA)

Menurut Abioye *et al.*, (2021), penggunaan kaedah Waste Analytics (WA) berpandukan kepelbagaian data daripada sumber yang berlainan seperti reka bentuk bangunan, bahan pembinaan, dan strategi pembinaan.

(f) Penggunaan Big Data Analytics

Penggunaan *Big Data Analytics* adalah bertujuan untuk meramal dan meminimakan sisa pepejal pembinaan. Hal ini kerana, *Big Data Analytics* mampu menganalisis data set dalam jumlah yang banyak. Kini, *Big Data analytics* mampu membuat keputusan yang efektif, *analytical tools* seperti, statistik, *business intelligence*, *machine learning*, *time-series analysis*, *data mining*, *data warehousing* dan teknik khusus untuk memproses *big data* boleh diaplikasikan untuk meramal dan meminimakan sisa pepejal pembinaan (Bilal *et al.*, 2016).

(g) Penggunaan Teknologi Digital seperti Building Information Modelling (BIM), Big data, GIS, GPS, dan RFID

Penggunaan teknologi digital seperti teknologi Building Information Modelling (BIM), Big data, GIS, GPS, dan RFID di dalam pengurusan sisa pepejal pembinaan (Ratnasabapathy *et al.*, 2019).

(h) Robot Perindustrian Seperti Collaborative robots (Cobots)

Collaborative robots (Cobots) merupakan robot perindustrian yang direka untuk bekerja dengan manusia di dalam suasana pekerjaan yang sama. Teknologi ini memfokuskan kepada peralatan yang berkaitan dengan pengurusan sisa pepejal pembinaan terutamanya dari segi jenis kinematik, beban, kelajuan, dan sistem cengkaman yang efektif (Sarc *et al.*, 2019).

(i) Penggunaan Teknologi Blockchain

Menurut Liu *et al.*, (2022), *Wastechain* merupakan satu model bagi pengurusan sistem pepejal pembinaan yang dibina berdasarkan rangkaian *blockchain*. Sistem model ini membekalkan ruang untuk semua data bagi projek pembinaan dan memastikan kebolehesanan maklumat bahan binaan.

(j) Mengaplikasikan Penggunaan Cloud Platform

Cloud Platform merupakan salah satu *platform* di atas talian yang mempunyai pelbagai lapisan data. Dengan menggunakan *Cloud Platform*, pihak industri pembinaan dapat mengawasi proses penjaanahan sisa pepejal pembinaan, proses pemindahan dan proses pelupusan pada waktu itu (Wang *et al.*, 2019).

2.3 Kajian Lepas

Jadual 1 dan Jadual 2 menunjukkan kajian lepas yang telah dijalankan berkaitan dengan dua objektif kajian ini.

Jadual 1: Senarai cabaran-cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan

Kajian Lepas				
Cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan.	Janari <i>et al.</i> , (2020)	Bayode <i>et al.</i> , (2019)	Suddin & Nawari (2015)	Ratnasabapathy <i>et al.</i> , (2019)
Cabaran kos	✓			
Cabaran pengetahuan dan kemahiran	✓	✓		✓
Cabaran kesan kepada alam sekitar	✓			
Cabaran penyeliaan sisa bahan binaan			✓	

Jadual 2: Senarai langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan

Kajian Lepas					
Langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan.	Kim <i>et al.</i> , (2020)	Sarc <i>et al.</i> , (2019)	Suddin & Nawari (2015)	Ratnasabapathy <i>et al.</i> , (2019)	Dasar Pengurusan Sisa Pepejal Negara (2016)
Menggalakkan penggunaan teknologi	✓	✓	✓	✓	
Meningkatkan kemahiran penggunaan teknologi					✓
Membuat perancangan pengurusan sistematik					✓

3. Metodologi Kajian

Metodologi kajian merupakan teknik atau alat untuk melakukan sesuatu penyelidikan yang mengandungi elemen-elemen seperti reka bentuk kajian, pengumpulan data, dan analisis data.

3.1 Reka bentuk kajian

Reka bentuk kajian yang digunakan bagi penyelidikan ini ialah kaedah kuantitatif melalui pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengedaran borang soal selidik kepada responden yang terpilih iaitu kontraktor yang bergred G7 di sekitar negeri Johor. Seramai 248

orang responden yang dipilih sebagai sampel bagi kajian ini dan borang soal selidik akan diedarkan melalui e-mel. Manakala, data sekunder diperoleh daripada kajian literatur iaitu melalui kaedah pembacaan jurnal, artikel, tesis yang lepas dan sebagainya. Kaedah analisis data menggunakan perisian *Statistical Package for Social Science (SPSS)* untuk mentafsir data yang diperoleh daripada responden melalui borang soal selidik.

Jadual 3 menunjukkan kaedah yang digunakan untuk mencapai objektif bagi kajian ini yang seterusnya menjawab persoalan kajian bagi kajian ini.

Jadual 3: Kaedah yang digunakan untuk mencapai objektif kajian

Bil.	Objektif Kajian	Kaedah
	Mengkaji cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan.	Kaedah Literatur/ Kaedah Kuantitatif
	Mengenalpasti langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan.	Kaedah Literatur/ Kaedah Kuantitatif

Metodologi kajian ini dimulakan dengan permasalahan kajian yang seterusnya membentuk persoalan kajian. Berdasarkan persoalan kajian, objektif kajian dibuat untuk mencapai matlamat kajian. Bagi pengumpulan data, data primer dan data sekunder digunakan didalam kajian ini. Seterusnya, bagi memperoleh data daripada responden iaitu kontraktor gred G7, borang soal selidik direka bentuk dan diedarkan melalui emel. Setelah menerima maklum balas daripada responden, analisis kajian dibuat menggunakan perisian *Statistical Package for Social Science (SPSS)*. Akhir sekali, penyelidik membuat kesimpulan dan cadangan daripada hasil dapatan kajian.

3.2 Pengumpulan data

Kaedah pengumpulan data bagi kajian ini terbahagi kepada dua iaitu melalui data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui kaedah penyelidikan, pemerhatian, kajian kes kerana ianya dikumpulkan sendiri oleh penyelidikan (Naoum, 2007). Melalui kajian ini, data kajian diperoleh daripada borang soal selidik melalui kaedah kuantitatif daripada responden yang terpilih. Responden kajian terdiri daripada kontraktor bergred G7 yang berada di sekitar negeri Johor. Manakala, data sekunder merupakan data yang diperoleh daripada kajian yang dijalankan oleh pengkaji-pengkaji yang lepas. Data sekunder boleh diperoleh daripada pembacaan jurnal, artikel, tesis lepas, laman sesawang dan sebagainya.

3.3 Analisis data

Analisis data dijalankan berdasarkan kepada objektif kajian iaitu cabaran yang dihadapi teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan dan langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan. Teknik analisis data kuantitatif digunakan bagi mengolah data yang berangka atau statistik. Statistik deskriptif merupakan analisis data dengan cara menggambarkan atau mendeskripsikan data tanpa membuat kesimpulan. Seterusnya, data-data yang diperoleh akan dianalisis dengan menggunakan perisian *Statistical Package for Social Science (SPSS)*. Data yang dianalisis dengan perisian akan menentukan peratusan, dan skor min bagi kedua-dua objektif kajian.

4. Hasil Dapatan Kajian dan Perbincangan

Bahagian ini membincangkan berkaitan hasil dapatan kajian dan juga perbincangan bagi hasil kajian.

4.1 Latar Belakang responden

Berdasarkan Jadual 4.1, latar belakang responden terdiri daripada jantina, umur, tahap pendidikan, dan pengalaman bekerja dalam industri pembinaan. Jadual 1 menunjukkan responden lelaki lebih banyak memberi maklum balas terhadap kajian ini iaitu sebanyak 96 orang (77.4 %). Seterusnya, seramai 41 orang responden merupakan golongan berumur 20 hingga 30 tahun iaitu sebanyak 33.1%. Selain itu, lebih daripada responden iaitu sebanyak 50.8% (63 orang) responden mempunyai Ijazah Sarjana Muda. Hal ini menunjukkan bahawa responden kajian mempunyai latar belakang pendidikan yang baik. Akhir sekali, seramai 41 orang (33.0%) responden kajian yang telah memberi maklum balas mempunyai pengalaman selama 5 hingga 10 tahun bekerja dalam industri pembinaan.

Jadual 4: Analisis latar belakang responden

Perkara	Item	Kekerapan	Peratus (%)
i. Jantina	Lelaki	96	77.4%
	Perempuan	28	22.6%
ii. Umur	20-30 Tahun	41	33.1%
	31-40 Tahun	40	32.3%
	41-50 Tahun	20	16.1%
	51-60 Tahun	17	13.7%
	61 Tahun dan keatas	6	4.8%
iii. Tahap Pendidikan	Sijil	4	3.2%
	Diploma	35	28.2%
	Ijazah Sarjana Muda	63	50.8%
	Ijazah Sarjana	21	16.9%
	Ijazah Kedoktoran	1	0.8%
iv. Pengalaman Bekerja dalam Industri Pembinaan	Kurang dari 5 Tahun	39	31.5%
	5-10 Tahun	41	33.0%
	11-15 Tahun	17	13.7%
	Lebih dari 15 Tahun	27	21.8%

4.2 Analisis Cabaran yang dihadapi Terhadap Penggunaan Teknologi IR 4.0 dalam Membantu Menguruskan Sisa Pepejal di Tapak Pembinaan

Jadual 5: Hasil analisis deskriptif cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan

Bil.	Perkara	Min	Tahap Persetujuan
B1	Cabaran Kos		
a.	Kos pembelian teknologi baru yang mahal	4.16	Tinggi
b.	Kos penyelenggaraan teknologi yang mahal	3.81	Tinggi

B2	Cabaran Pengetahuan Dan Kemahiran		
a.	Kekurangan tenaga mahir dalam menggunakan teknologi	4.07	Tinggi
b.	Kekurangan pengetahuan mengenai teknologi baru	3.76	Sederhana
B3	Cabaran Kesan Kepada Alam Sekitar		
a.	Pelepasan gas toksik ke udara kesan daripada penggunaan teknologi	2.89	Sederhana
B4	Cabaran Penyeliaan Sisa Bahan Binaan		
a.	Penyeliaan sisa bahan binaan yang tidak efektif	3.38	Sederhana
b.	Penyeliaan sisa bahan binaan yang tidak terancang	3.37	Sederhana
c.	Penyeliaan sisa bahan binaan yang tidak sistematik	3.37	Sederhana

Berdasarkan Jadual 5, hasil dapatan kajian mendapati nilai min yang tertinggi adalah sebanyak 4.16. Hal ini menunjukkan majoriti responden bersetuju bahawa kos pembelian teknologi baru yang mahal merupakan cabaran yang paling utama. Menurut Bayode *et al.* (2019) kekurangan sumber kewangan merupakan salah satu cabaran untuk mengaplikasikan teknologi baru terutamanya bagi syarikat-syarikat kecil. Kenyataan diatas disokong oleh Janari *et al.* (2020) yang menyatakan kos teknologi yang mahal merupakan salah satu isu yang menyebabkan pembuangan haram sisa pepejal pembinaan. Oleh itu, penggunaan teknologi terkini adalah rendah oleh kerana kos pembelian teknologi yang tinggi. Seterusnya, responden bersetuju bahawa kekurangan tenaga mahir dalam menggunakan teknologi merupakan nilai kedua tertinggi iaitu sebanyak 4.07. Industri automotif perlu mencipta satu karier yang baru yang memerlukan kemahiran dan kerumitan yang tinggi (Bayode *et al.*, 2019). Menurut laporan WEF, negara Afrika kurang mengambil perhatian terhadap gangguan yang akan berlaku di masa hadapan terhadap kerja dan kemahiran industri 4.0. Oleh itu, kekurangan tenaga mahir dalam menggunakan teknologi merupakan cabaran terutamanya apabila pekerja yang bekerja ditapak pembinaan merupakan golongan tua dan juga pekerja asing. Selain itu, cabaran pelepasan gas toksik ke udara kesan daripada penggunaan teknologi mencatatkan nilai yang terendah iaitu sebanyak 2.89. Hal ini dijelaskan oleh Janari *et al.* (2020) yang menyatakan bahawa penggunaan teknologi memberi kesan kepada alam sekitar disebabkan oleh pelepasan gas toksik ke udara yang seterusnya menjadi penyumbang kepada pelepasan gas rumah hijau sekiranya tidak diuruskan dengan cara yang betul.

4.3 Analisis Langkah-langkah Penambahbaikkan dengan Meningkatkan Penggunaan IR 4.0 bagi Mengurangkan Sisa Pepejal Pembinaan

Jadual 6: Langkah-langkah penambahbaikkan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan

Bil.	Perkara	Min	Tahap Persetujuan
C1	Menggalakkan Penggunaan Teknologi		
a.	Menggalakkan penggunaan teknologi digital seperti <i>Building Information Modelling (BIM)</i> , <i>Big data</i> , <i>Geographic Information System (GIS)</i> , <i>Global Positioning System (GPS)</i> , dan <i>Radio-Frequency Identification (RFID)</i> .	4.49	Tinggi

b.	Menggalakkan penggunaan Robot perindustrian seperti <i>Collaborative robots (Cobots)</i> .	3.82	Tinggi
c.	Menggalakkan penggunaan teknologi Smart Dustbin bagi proses kitar semula bahan binaan.	4.13	Tinggi
C2	Meningkatkan Kemahiran Penggunaan Teknologi		
a.	Mengadakan latihan terutamanya bagi pengendalian teknologi baharu.	4.43	Tinggi
b.	Menjalankan kursus dan pendedahan bagi menerangkan kepentingan teknologi.	4.43	Tinggi
C3	Membuat Perancangan Pengurusan Yang Sistematis		
a.	Membuat jadual perancangan dan pengurusan sisa pepejal binaan secara berkala.	4.44	Tinggi

Berdasarkan Jadual 6, nilai min yang tertinggi iaitu sebanyak 4.49 yang menunjukkan hampir kesemua responden bersetuju bahawa menggalakkan penggunaan teknologi digital seperti *Building Information Modelling (BIM)*, *Big data*, *Geographic Information System (GIS)*, *Global Positioning System (GPS)*, dan *Radio-Frequency Identification (RFID)* merupakan langkah yang berkesan bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan. Menurut Ratnasabapathy *et al.*, (2019), penggunaan teknologi digital seperti teknologi *Building Information Modelling (BIM)*, *Big data*, *Geographic Information System (GIS)*, *Global Positioning System (GPS)*, dan *Radio-Frequency Identification (RFID)* dapat membantu membuat pengurusan sisa pepejal pembinaan. Kenyataan tersebut disokong oleh Kim *et al.*, (2020) iaitu walaupun penggunaan teknologi baharu di dalam industri pembinaan agak perlahan, tetapi penggunaan teknologi dan inovasi dijangka mampu meningkatkan kualiti sektor pembinaan. Penggunaan alat baharu seperti imej 3 dimensi (3D), *3D printing*, simulasi 4 dimensi (4D), *Building Information Modelling (BIM)*, *drones*, *virtual reality*, dan *augmented reality* merupakan teknologi yang berpotensi dan dijamin untuk pengurusan sisa pepejal pembinaan. Hal ini kerana, teknologi digital seperti penggunaan *Big Data analytics* boleh menganalisis data yang banyak dan mampu membuat keputusan yang efektif serta mempunyai teknik khusus untuk memproses *big data* yang boleh diaplikasikan untuk meramal dan meminimalkan sisa pepejal pembinaan. Menggalakkan penggunaan teknologi *Smart Dustbin* bagi proses kitar semula bahan binaan mencatatkan nilai min sebanyak 4.13. Menurut Suddin & Nawi (2015), Konsep 3R bermaksud pengurangan sisa (*reduce*), penggunaan semula (*reuse*), dan juga kitar semula bahan (*recycle*). Hal ini kerana konsep 3R mampu mengurangkan penjejakan sisa pepejal dan juga mengurangkan kesan kepada alam sekitar. Tambahan pula, *Smart Dustbin* membantu mengurangkan kesan kepada alam sekitar kerana ianya bersifat mesra alam (*eco-friendly*). Pengasingan sisa bahan binaan seperti konkrit, kayu, kaca, dan sebagainya dengan menggunakan konsep 3R memudahkan lagi proses pengurusan sisa pepejal pembinaan dengan berkesan. Manakala, item yang paling rendah adalah sebanyak 3.82 kerana responden kurang pasti sama ada menggalakkan penggunaan Robot perindustrian seperti *Collaborative robots (Cobots)* dapat membantu mengurangkan sisa pepejal pembinaan. *Collaborative robots (Cobots)* merupakan robot perindustrian yang direka untuk bekerja dengan manusia di dalam suasana pekerjaan yang sama. Teknologi ini memfokuskan kepada peralatan yang berkaitan dengan pengurusan sisa pepejal pembinaan terutamanya dari segi jenis kinematik, beban, kelajuan, dan sistem cengkaman yang efektif (Sarc *et al.*, 2019). Oleh kerana, kekurangan penggunaan teknologi ini di Malaysia, majoriti responden kurang bersetuju bahawa penggunaan teknologi *Cobots* dapat membantu menguruskan sisa pepejal pembinaan dengan berkesan.

5. Kesimpulan

Bahagian ini merupakan bahagian rumusan kajian atau dikenali sebagai kesimpulan bagi hasil dapatan kajian yang telah dijalankan.

5.1 Kesimpulan Kajian

(a) *Objektif 1: Cabaran yang dihadapi Terhadap Penggunaan Teknologi IR 4.0 dalam Membantu Menguruskan Sisa Pepejal di Tapak Pembinaan*

Jadual 7 menunjukkan tiga (3) cabaran yang mencatatkan skor min yang tertinggi kepada cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan. Berdasarkan skor min yang diperolehi daripada hasil dapatan kajian terhadap responden kajian iaitu kontraktor G7, kos pembelian teknologi yang mahal menduduki tempat yang pertama, diikuti dengan kekurangan tenaga mahir dalam menggunakan teknologi dan kos penyelenggaraan teknologi yang mahal.

Jadual 7: Tiga (3) cabaran yang dihadapi terhadap penggunaan teknologi IR 4.0 dalam membantu menguruskan sisa pepejal di tapak pembinaan

Cabaran	Kedudukan
Kos pembelian teknologi baru yang mahal	1
Kekurangan tenaga mahir dalam menggunakan teknologi	2
Kos penyelenggaraan teknologi yang mahal	3

(b) *Objektif 2: Langkah-langkah Penambahbaikan dengan Meningkatkan Penggunaan Teknologi IR 4.0 bagi Mengurangkan Sisa Pepejal Pembinaan*

Jadual 8 menunjukkan tiga (3) langkah yang mencatatkan skor min yang tertinggi kepada langkah-langkah penambahbaikan dengan meningkatkan penggunaan teknologi IR 4.0 bagi mengurangkan sisa pepejal pembinaan. Berdasarkan skor min yang diperolehi daripada hasil dapatan kajian terhadap responden kajian iaitu kontraktor G7, menggalakkan penggunaan teknologi digital seperti *Building Information Modelling (BIM)*, *Big data*, *Geographic Informational System (GIS)*, *Global Positioning System (GPS)*, dan *Radio-Frequency Identification (RFID)* menduduki tempat yang pertama, diikuti dengan membuat jadual perancangan dan pengurusan sisa pepejal binaan secara berkala, dan mengadakan latihan terutamanya bagi pengendalian teknologi baharu.

Jadual 8: Tiga (3) Langkah-langkah Penambahbaikan dengan Meningkatkan Penggunaan Teknologi IR 4.0 bagi Mengurangkan Sisa Pepejal Pembinaan

Langkah-langkah	Kedudukan
Menggalakkan penggunaan teknologi digital seperti <i>Building Information Modelling (BIM)</i> , <i>Big data</i> , <i>Geographic Informational System (GIS)</i> , <i>Global Positioning System (GPS)</i> , dan <i>Radio-Frequency Identification (RFID)</i> .	1
Membuat jadual perancangan dan pengurusan sisa pepejal binaan secara berkala.	2
Mengadakan latihan terutamanya bagi pengendalian teknologi baharu.	3

5.2 Implikasi Kajian

Kajian ini memberikan sumbangan kepada beberapa pihak yang terdiri daripada industri pembinaan, badan ilmu, dan juga kelestarian dalam pengurusan sisa pepejal pembinaan. Oleh kerana, penjaan sisa pepejal yang meningkat saban tahun dan juga pembuangan sisa pepejal pembinaan secara haram giat dilakukan, kajian ini boleh dijadikan rujukan untuk membantu menguruskan dan mengurangkan sisa pepejal pembinaan dengan menggalakkan penggunaan teknologi IR 4.0. Selain itu, kajian ini memberi sumbangan kepada badan ilmu kerana para pelajar, penyelidik, ahli akademik boleh menjadikan kajian

ini sebagai rujukan yang berkaitan dengan penggunaan teknologi IR 4.0 dalam amalan pengurusan sisa pepejal pembinaan. Seterusnya, kajian ini juga memberi sumbangan kepada kelestarian dalam pengurusan sisa pepejal pembinaan. Kelestarian dapat dibentuk kerana penggunaan teknologi yang berkesan terhadap pengurusan sisa pepejal yang efektif. Hal ini sekaligus memberi kesejahteraan kepada kehidupan manusia kerana pencemaran alam sekitar dapat dikurangkan.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada pihak Fakulti Pengurusan Teknologi dan Perniagaan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia kerana memberikan bimbingan dan sokongan.

Rujukan

- Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Delgado, J. M. D., Bilal, M., Akinade, O. O., & Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering* 44, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103299>
- Alaloul W. S., Liew, M. S., Wan Abdullah Zamawi, N. A. & Kennedy, I. B. (2019). Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities for Stakeholders. *Engineering Journal* 11, 225-230.
- Bayode, A., Van der Poll, J. A. & Ramphal. R. R. (2019). 4th Industrial Revolution: Challenges and Opportunities in the South African Context. *Conference on Science, Engineering, Technology & Waste Management (SETWM-19) Nov. 18-19, 2019*. <https://doi.org/10.17758/EARES8.EAP1119285>
- Bilal, M., Oyedele, L. O., Qadir, J., Munir, K., Akinade, O. O., Ajayi, S. O., Alaka, H. A. & Owolabi, H. A. (2016). Analysis of critical features and evaluation of BIM software: towards a plug-in for construction waste minimization using big data. *Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, vol 6, no. 4, pp. 211-228. <https://dx.doi.org/10.1080/2093761X.2015.1116415>
- Janari, N. N. A., Kasim, N., Zainal, R. & Shareh Musa S. R. (2020). Kajian Penggunaan Sistem 'Waste-To-Energy' (WTE) Bagi Pengurusan Tapak Pelupusan Sisa Pembinaan. *Research in Management of Technology and Business, Vol. 1 No. 1, 2020*, pp. 469–481.
- Jin, R., Yuan, H. & Chen, Q. (2019). Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, pp.175-188.
- Kim, J. (2021). Construction and Demolition Waste Management in Korea: Recycled Aggregate and Its Application. *Clean Technologies and Environmental Policy* 23:2223–2234.
- Liu, Z., Wu, T., Wang, F., Osmani, M. & Demian, P. (2022). Blockchain Enhanced Construction Waste Information Management: A Conceptual Framework. *Sustainability* 2022, 14, 12145. <https://doi.org/10.3390/su141912145>
- Luca, A. D., Chen, L. & Gharehbaghi, K. (2020). Sustainable Utilization of Recycled Aggregates: Robust Construction and Demolition Waste Reduction Strategies. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, Vol. 39 No. 4, 2021, pp. 666-682.
- Ratnasabapathy, S., Perera, S. & Alashwal, A. (2019). A Review of Smart Technology Usage in Construction and Demolition Waste Management, DOI: doi.org/10.31705/WCS.2019.5.
- Ratnasabapathy, S., Alashwal, A. & Perera, S. (2020). Investigation of Waste Diversion Rates in the Construction and Demolition Sector in Australia. *Built Environment Project and Asset Management*, Vol. 11 No. 3, 2021, pp. 427-439.
- Sarc, R., Curtis, A., Kandlbauer, L., Khodier, K., Lorber, K. E. & Pomberger, R. (2019). Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy-oriented waste management – A Review. *Journal of Waste Management*, Vol. 95, 2019, pp. 476–492.
- Shareh Musa, S. M., Md Yassin, A., Zainal, R., Shafii, H. & Yeo P. Y. (2019). Perbandingan Penghasilan Sisa Pepejal Binaan Antara Sistem Bangunan Berindustri (IBS) dengan Sistem Konvensional. *Journal of Information System and Technology Management*, Vol. 4 No. 14, 2019, pp.72-83.
- Shooshtarian, S., Caldera, S., Maqsood, T., Ryley, T. & Khalfan, M. (2021). An Investigation into Challenges and Opportunities in the Australian Construction and Demolition Waste Management System. *Engineering*,

- Construction and Architectural Management*, DOI 10.1108/ECAM-05-2021-0439.
- Suddin, M. U. & Mohd Nawi, M. N. (2015). Pengurusan Sisa di Tapak Bina dalam Industri Pembinaan: Kajian Kes di Daerah Kubang Pasu, Kedah. *Proceeding of Symposium on Technology Management and Logistics*, 8-9 December 2015.
- Swarna, K. S., Tezeswi T. P. & Siva Kumar M. V. N. (2022). Implementing construction waste management in India: An Extended Theory of Planned Behaviour Approach. *Environmental Technology & Innovation* 27, 102401.
- Wang, F., Ding, C., Liu, D. & Bi, J. (2019). Design of real-time monitoring and intelligent management cloud platform for entire process of construction waste. *Earth and Environmental Science* 310 (2019) 022052. doi:10.1088/1755-1315/310/2/022052