

Jurnal Kejuruteraan 36(2) 2024: 487–496  
[https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36\(2\)-10](https://doi.org/10.17576/jkukm-2024-36(2)-10)

## Kaedah dan Kegunaan dalam Pelaksanaan Integrasi BIM-GIS dan Potensinya dalam Pengurusan Sistem Saliran: Satu Tinjauan

(Method and Use in Implementation of Integration BIM and GIS and Its Potential in the Drainage System Management: A Review)

Abdullah Ahmad<sup>a,b</sup>, Khairul Nizam Abdul Maulud<sup>a,c\*</sup> & Syed Ahmad Fadhli Syed Abdul Rahman<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43650, UKM Bangi, Selangor Malaysia

<sup>b</sup>Cawangan Dasar dan Pengurusan Korporat, Jabatan Kerja Raya Malaysia, Menara Kerja Raya, Ibu Pejabat JKR, Jalan Sultan Salahuddin, 50480 Kuala Lumpur

<sup>c</sup>Pusat Pencerapan Bumi, Institut Perubahan Iklim, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43650, UKM Bangi, Selangor Malaysia

<sup>d</sup>Bahagian Kadaster, Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia, 50578 Kuala Lumpur

\*Corresponding author: [knam@ukm.edu.my](mailto:knam@ukm.edu.my)

Received 22 May 2023, Received in revised form 21 August 2023  
 Accepted 21 September 2023 Available online 30 March 2024

### ABSTRAK

Kebolehan aplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS) dalam menguruskan data tiga dimensi (3D) semakin meningkat seiring dengan kemajuan teknologi masa kini dan kebolehan ini dapat dipertingkatkan melalui integrasi bersama teknologi Permodelan Maklumat Bangunan (BIM). Walaupun gabungan teknologi BIM-GIS ini banyak memberikan manfaat yang signifikan kepada kehidupan manusia, namun terdapat beberapa cabaran dan batasan yang perlu diatasi dalam menjayakannya. Justeru itu penelitian terhadap artikel terdahulu dilaksanakan bagi melihat cabaran dan potensi integrasi ini. Penulisan ini dimulakan dengan carian artikel terdahulu menggunakan kata kunci yang bersesuaian di Web of Science dan Scopus. Carian dilaksanakan kepada dua bahagian iaitu artikel berkaitan integrasi BIM-GIS dengan kata kunci "BIM" AND "GIS" dan artikel berkenaan penggunaan data 3D dalam aplikasi GIS bagi pengurusan sistem saliran dengan menggunakan kata kunci "GIS" AND "3D" AND "DRAINAGE". Dari artikel tersebut, penulisan ini membuat pemerhatian kepada (1) Struktur data integrasi BIM-GIS, (2) Kaedah integrasi yang pernah dilaksanakan, (3) Kegunaan model integrasi dan (4) Potensi Integrasi BIM-GIS dalam pengurusan data 3D sistem saliran. D daripada penelitian yang dibuat, didapati antara cabaran utama dalam integrasi BIM-GIS adalah perbezaan jumlah kelas, penyusunan kelas yang tidak sama, kaedah pembentukan geometri dan penggunaan sistem georeferensi. Bagi mengatasi cabaran ini protokol piawai yang berdasarkan kepada keperluan spesifik tertentu perlu diwujudkan dengan mengambil kira keperluan organisasi supaya dapat mewujudkan satu proses integrasi yang konsisten. Kajian juga mendapati terdapat potensi yang besar terhadap penggunaan integrasi BIM-GIS dalam pengurusan sistem saliran.

Kata Kunci: BIM; GIS; Model 3D; Integrasi; Sistem Saliran

### ABSTRACT

The ability of Geographic Information System (GIS) applications to manage three-dimensional (3D) data is increasing along with advancements in current technology, and this ability can be further enhanced through the integration of Building Information Modeling (BIM) technology. While the combination of BIM and GIS technologies provides significant benefits to human life, there are several challenges and limitations that need to be addressed for successful implementation. Therefore, research on previous articles will be conducted to examine the challenges and potential of this integration. This paper will begin with searching for relevant previous articles using appropriate keywords on Web of Science and Scopus. The search will be conducted in two parts, articles related to BIM-GIS integration with keywords

*“BIM” AND “GIS,” and articles concerning the usage of 3D data in GIS applications for drainage system management using keywords “GIS” AND “3D” AND “DRAINAGE.” From these articles, observations will be made regarding (1) the structure of BIM-GIS integration data, (2) implemented integration methods, (3) utilization of integration models, and (4) the potential of BIM-GIS Integration in managing 3D drainage system data. The research identifies key challenges in BIM-GIS integration, including differences in class numbers, dissimilar class arrangement, geometry creation methods, and georeference system application. To address these challenges, standard protocols based on specific requirements need to be established by considering organizational needs to ensure a consistent integration process. The paper also recognizes significant potential in employing BIM-GIS integration for drainage system management.*

*Keyword: BIM; GIS; 3D Model; Integration; Drainage System*

## PENGENALAN

Pertambahan kepadatan penduduk dan pembangunan infrastruktur yang pesat mendorong fokus ditumpukan kepada pembangunan dan penggunaan data tiga dimensi yang lebih komprehensif dalam meningkatkan kualiti hidup dan ekonomi (Carstens 2019; Ying et al. 2021). Integrasi teknologi Permodelan Maklumat Bangunan (BIM) dan Sistem Maklumat Geografi (GIS) dilihat dapat memberikan solusi terhadap masalah ini dan satu topik yang menarik untuk dibincangkan (Zhu et al. 2020). Informasi yang terdapat di dalam model BIM memberikan nilai tambah dari sudut sumber data kepada model GIS dan sebaliknya, kebolehan aplikasi GIS yang meluas dapat memberikan manfaat kepada proses kerja BIM (Ding et al. 2020). Ini terbukti apabila aplikasi berdasarkan papan pemuka (dashboard) dan sokongan medium terbuka yang dibangunkan melalui integrasi ini dapat menyelesaikan masalah secara menyeluruh dan pantas (Abdul Rahman et al. 2022). Sebagai contoh, Alsaggaf dan Jrade (2019) telah membangunkan sebuah aplikasi integrasi yang terdiri daripada modul-modul bagi membantu menguruskan susun atur tapak bina supaya bebas dari konflik dan meningkatkan kecekapan kerja. Integrasi ini juga merupakan satu-satunya kaedah untuk menyediakan data dalam aplikasi GIS bagi infrastruktur baru yang akan dibina. Berbeza dengan data infrastruktur sedia ada yang boleh dikumpulkan menggunakan pelbagai kaedah seperti pengesanan pengukuran jauh cahaya, imbasan laser, dan fotogrametri. (Zhu et al. 2021).

BIM dan GIS merupakan dua interdisiplin bidang yang menggunakan aplikasi pengkomputeran untuk melaksanakan rekabentuk, visualisasi dan pengurusan data (Wei et al. 2021). Kebanyakan aplikasi BIM tidak mampu untuk mengurus data spatial manakala aplikasi GIS pula memiliki keterbatasan dalam mewujudkan data bangunan yang terlalu terperinci, justeru itu integrasi BIM-GIS ini dilihat sebagai satu penyelesaian kepada perkara ini (Zadeh et al. 2019; Demir Altıntaş & Ilal 2021). Walaupun integrasi ini dilihat saling melengkapi kelemahan masing-masing namun masalah ketidakkonsistenan semasa proses integrasi

boleh menyebabkan masalah kehilangan data (Aduane et al., 2020). Banyak usaha dan kajian dilaksanakan bagi memastikan proses integrasi ini berjalan dengan lebih sempurna, tetapi ianya bukanlah suatu perkara yang mudah kerana kedua-dua sistem ini memiliki ciri yang berbeza dari segi prosedur pemodelan, perisian dan piawaian (Sharafat et al. 2021).

Air merupakan salah satu sumber terpenting di mukabumi yang sangat memberikan manfaat kepada kehidupan manusia. Pengurusan air bukan sahaja tertumpu kepada penggunaannya sebagai sumber minuman tetapi juga perlu dilihat pada aspek aktiviti lain termasuk pengurusan air hujan dan air kumbahan yang boleh mengakibatkan bencana dan ancaman terhadap kehidupan harian manusia. Sistem saliran merujuk kepada infrastuktur yang terdiri daripada saluran terbuka, tertutup dan beberapa komponen lain yang bertujuan untuk mengumpul dan membawa air ke titik buangan akhir atau ke pelan kumbahan. Justeru itu adalah penting bagi memastikan setiap komponen sistem saliran dapat berfungsi sama ada semasa peringkat rekabentuk, pembinaan dan pengurusan. Abbas et al. (2019) menyatakan, matlamat utama rekabentuk sistem saliran adalah menentukan jajaran, kecerunan dan saiz optimum saluran pembawa secara hidraulik berdasarkan hidrologi setempat.

Integrasi dan gabungan sistem GIS dan teknologi moden lainnya seperti penderiaan jauh, IoT, pengkomputeran awan dan sebagainya dilihat memiliki potensi dalam meningkatkan mutu pengurusan, penjimatan kos dan masa dalam pengurusan air (Habeeb & Weli 2021). Tambahan lagi dengan wujudnya teknologi yang memiliki kemampuan menyimpan dan merekod data 3D seperti BIM, pastinya dapat membantu pihak pengurusan menguruskan aset dengan lebih baik.

Walaupun terdapat banyak kajian terdahulu yang membuat pemerhatian berkaitan integrasi BIM-GIS, namun masih belum ada kajian yang melihat potensi aplikasi integrasi ini secara menyeluruh dari sudut struktur datanya, kaedah integrasi dan kegunaan model integrasi. Justeru itu, kajian ini meneliti kajian terdahulu bagi mengumpul maklumat berkaitan integrasi BIM-GIS

dan potensiya dalam pengurusan sistem saliran. Bagi tujuan itu penulisan ini membincangkan berkenaan (1) struktur data integrasi BIM-GIS, (2) kaedah integrasi yang digunakan, (3) kegunaan model integrasi dan (4) aplikasi integrasi GIS dengan teknologi 3D dalam sistem saliran bagi melihat potensi integrasi BIM-GIS dan (5) mencadangkan halatuju kajian hadapan yang boleh dilaksanakan.

## METHODOLOGI

Pemerhatian penulisan ini terdiri daripada dua bahagian utama. Bahagian pertama melibatkan penilaian terhadap artikel-artikel sebelum ini yang berkaitan dengan integrasi BIM dan GIS. Dalam bahagian ini, penilaian difokuskan kepada beberapa aspek utama iaitu: 1) Struktur data integrasi; 2) Kaedah integrasi yang telah digunakan sebelum ini; dan 3) Kegunaan model integrasi tersebut. Pada bahagian kedua, penulisan ini meneroka artikel-artikel yang berkaitan dengan aplikasi GIS dalam pengurusan data 3D sistem saliran. Tujuannya adalah untuk menilai potensi integrasi BIM dan GIS dalam pelaksanaan penyelenggaraan sistem saliran.

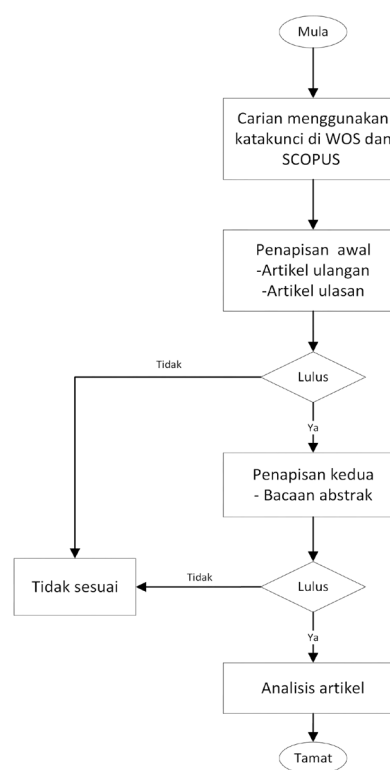
Kedua-dua bahagian ini melibatkan empat langkah penting dalam pemilihan artikel. Pertama, menggunakan kata kunci dan tahun penerbitan untuk mencari artikel yang sesuai. Kedua, menjalankan semakan awal untuk mengelakkan pengulangan artikel di antara sumber carian dan menapis artikel ulasan. Ketiga, melakukan semakan kali kedua yang melibatkan penelitian abstrak artikel yang ditemui. Keempat, melakukan bacaan sepenuh dan menganalisis artikel yang dipilih. Rajah 1 disertakan untuk menggambarkan keseluruhan metodologi kajian.

Bagi bahagian pertama, dengan menggunakan kata kunci "BIM" AND "GIS", serta menetapkan rentang tahun 2018 hingga 2023 dalam carian di *Web of Science*, didapati sejumlah 120 artikel telah ditemui. Selain itu, dalam carian di *Scopus* juga ditemui sejumlah 225 artikel. Secara keseluruhan, telah mengumpulkan sebanyak 345 artikel. Selepas melalui proses penapisan awal untuk menghindari pengulangan artikel antara kedua-dua sumber carian tersebut dan penyaringan artikel ulasan, jumlah artikel yang relevan telah berkurangan kepada 123 artikel. Melalui pembacaan abstrak yang mendalami skop, metodologi, dan hasil kajian, hanya 42 artikel yang benar-benar berkaitan dengan integrasi BIM dan GIS.

Perbincangan berkenaan struktur piawai diterangkan dalam bab struktur data integrasi BIM-GIS, sementara teknik integrasi BIM-GIS dibahas dalam bab kaedah integrasi. Manakala, bab kegunaan model integrasi membincangkan bagaimana integrasi BIM-GIS digunakan dalam bidang-bidang tertentu

Pada bahagian kedua yang bertujuan untuk mengkaji potensi kegunaan integrasi BIM dan GIS dalam pelaksanaan sistem saliran, kata kunci "GIS" AND "3D" AND "DRAINAGE" digunakan. Analisis ini juga melibatkan rentang tahun 2018 hingga 2023. Hasil carian di *Web of Science* dan *Scopus* telah mendapati sejumlah 20 dan 23 artikel masing-masing, menjadikan jumlah keseluruhan artikel yang ditemui adalah sebanyak 43 artikel. Melalui proses penyaringan seterusnya, jumlah artikel yang berkaitan berkurangan kepada 37, dan akhirnya hanya 12 artikel yang memenuhi kriteria setelah pembacaan abstrak dilakukan.

Perbincangan mengenai potensi integrasi BIM dan GIS dalam pelaksanaan penyelenggaraan sistem saliran diterangkan dalam bab sistem saliran dalam aplikasi GIS 3D.



RAJAH 1. Carta alir metodologi

## STRUKTUR DATA INTEGRASI BIM-GIS

### PENGURUSAN KELAS

*Industry Foundation Classes (IFC)* merupakan format piawai yang dibangunkan oleh *Building Smart International* bagi kegunaan BIM, manakala *CityGML* adalah format piawai yang diasaskan oleh *Open Geospatial Consortium*

(OGC) bagi kegunaan GIS. Walaupun kedua-dua piawai ini memiliki tujuan yang sama, iaitu menyimpan data geometri dan semantik namun ianya memiliki ciri-ciri yang berbeza dari segi susunan skema kelasnya, termasuk penggunaan teknik geometri, data semantik dan keperluan georeferensi (Noardo et al. 2019; Vacca & Quaquero 2020).

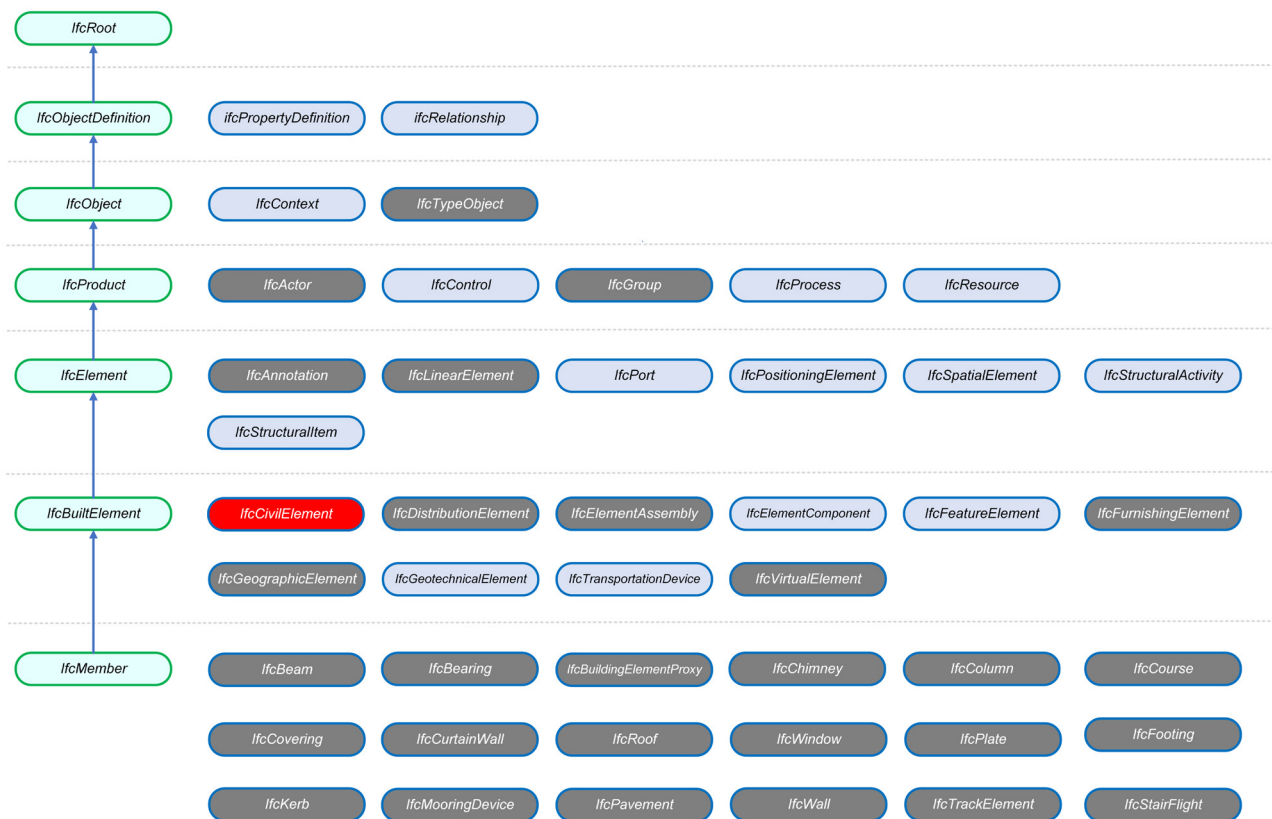
Susunan kelas IFC adalah berdasarkan kaedah objek berorientasi, dimana ianya terdiri daripada tiga jenis kelas utama iaitu kelas objek (IfcObject), kelas atribut (IfcPropertyDefinition) dan kelas hubungan (IfcRelationship) (Zhu et al. 2019). Setiap kelas ini berperanan sebagai penyimpanan, penyusunan dan penghubung kepada setiap data dalam model IFC (Zhu et al. 2019). Merujuk kepada skema IFC, semua kelas yang mewakili entiti fizikal merupakan sub kelas atau turunan kepada IfcProduct dan semua kelas fizikal ini disusun ke dalam kelas penyusun (*container class*) seperti IfcBuildingStorey. Kelas penyusun teratas di dalam skema IFC adalah IfcProject (Ying et al. 2021). Rajah 2 Menunjukkan hierarki kelas entiti di dalam IFC. Kelas IFC sentiasa berkembang melalui versi-versi terbaru bagi membolehkan potensi yang lebih baik dicapai. Sebagai contoh versi IFC 4.0 telah ditambah baik dengan kelas infrastruktur yang lebih lengkap seperti ifcDistributionFlowElement (Zhao et al. 2019a).

Dari perspektif lain, piawai skema CityGML mempunyai satu konsep yang membenarkan kelasnya dikembangkan iaitu *Application Domain Extension* (ADE) (Zadeh et al. 2019; Sharafat et al. 2021). Tidak seperti piawai IFC yang memerlukan setiap penambahan kelas mesti melalui pengesahan organisasi rasminya (*BuildingSMART*), kelas CityGML boleh dikembangkan tanpa sebarang halangan (Wilhelm et al. 2021). Dengan adanya konsep ADE di dalam skema CityGML inilah yang membuatkan proses integrasi di antara piawai IFC dan CityGML adalah tidak mustahil untuk dilaksanakan.

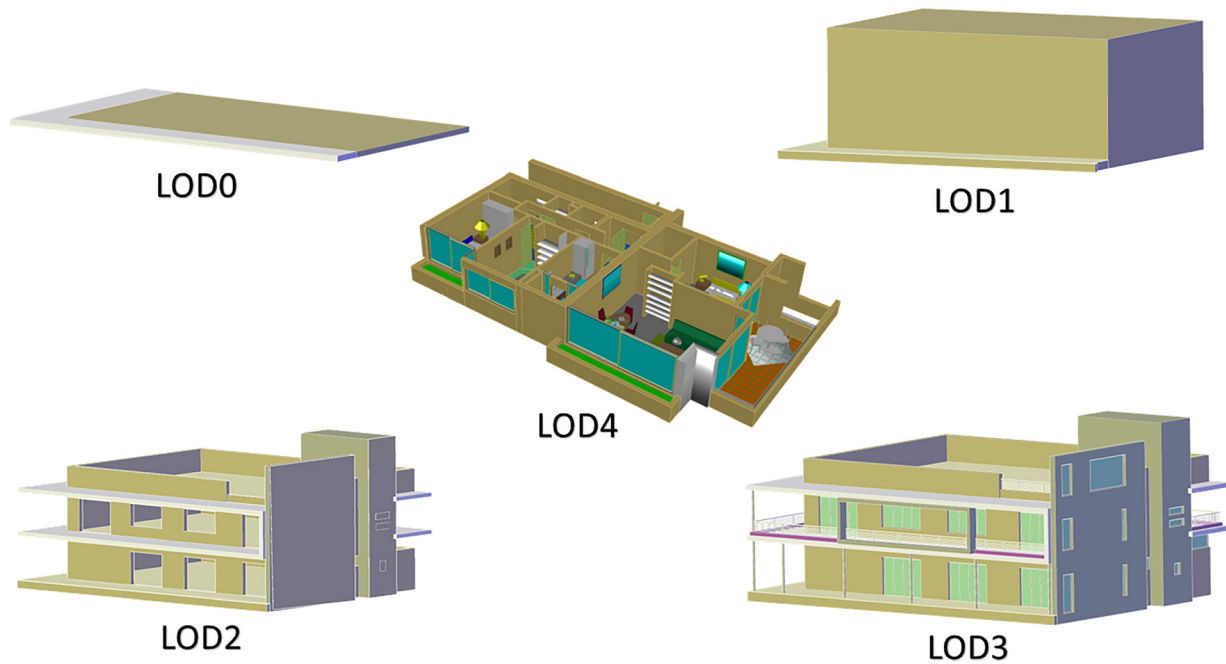
Konsep keperincian di dalam CityGML dikenali sebagai *Level of Detail* (LoD) adalah merujuk kepada keperincian sesebuah objek atau bangunan dibangunkan. LoD ini telah dibahagikan kepada 5 kategori iaitu (Adouane et al. 2020; Sun et al. 2020; Abdul Rahman et al. 2022) ;

1. LoD0: Tapak bangunan
  2. LoD1: Tapak bangunan berserta ketinggian
  3. LoD2: Bentuk luaran bangunan berserta struktur bumbung
  4. LoD3: Bentuk luaran bangunan yang lebih terperinci
  5. LoD4: Gambaran dalaman bangunan berserta aset
- Rajah 2 Menunjukkan LoD bagi CityGML

Rajah 3 Menunjukkan LOD bagi CityGML.



RAJAH 2. Hieraki kelas entiti di dalam IFC.



RAJAH 3. Sudut tahap keterangan dalam skema

Terminologi *Level of Development* (LOD) di dalam konsep BIM adalah merujuk kepada fasa pembangunan sesebuah model. LOD ini telah ditetapkan kepada 5 fasa iaitu:

1. LOD 100: Model Reka Bentuk Konsep
2. LOD 200: Model Reka Bentuk Awal
3. LOD 300: Model Reka Bentuk Terperinci
4. LOD 400: Model Pembinaan
5. LOD 500: Model Siap bina



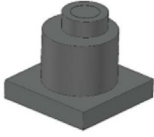
Selain dari itu juga terdapat juga tiga tahap perincian di bawah LOD iaitu *Level of detail* (LOd), *Level of Information* (LOi) dan *Level of Documentation* (LOdc) (Jabatan Kerja Raya Malaysia 2021). Rajah 4 menunjukkan contoh LOd dan LOi komponen BIM mengikut LOD.

Secara keseluruhannya, struktur data IFC dan CityGML memiliki kesamaan dari jenis skema tetapi terdapat perbezaan dari sudut susunan kelas dan tahap keperincian model. Justeru itu kerja integrasi dapat dilaksanakan dengan menyelaraskan tahap keperincian, penyusunan kelas dan penambahan kelas yang berkaitan.

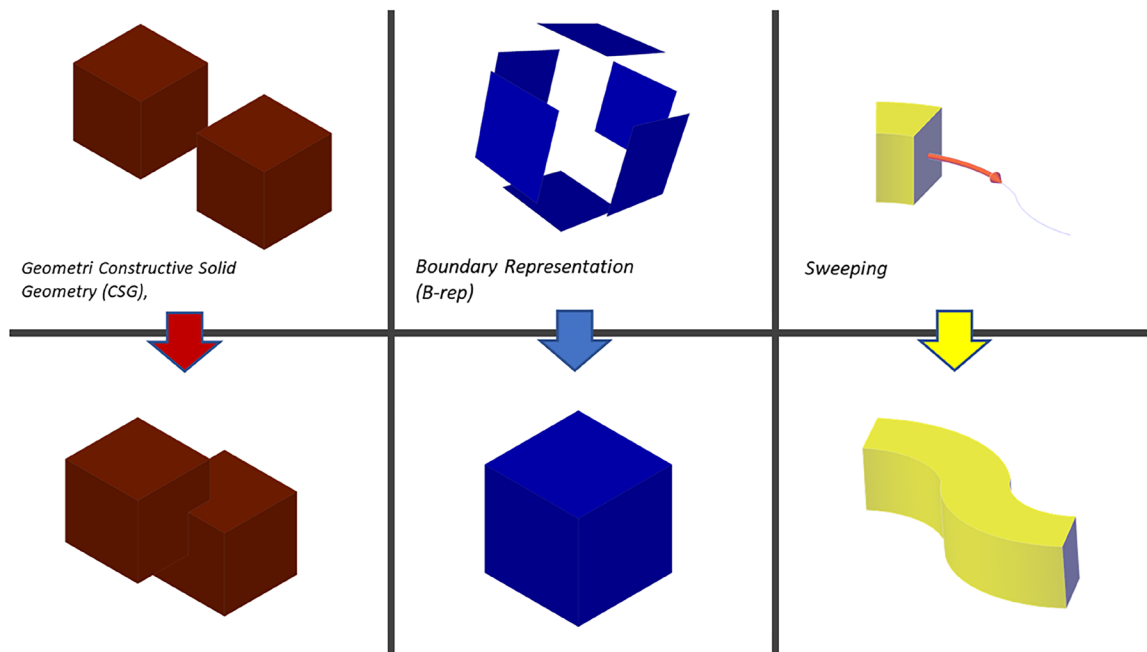
## DATA GEOMETRI

Kebanyakan aplikasi rekabentuk bantuan komputer (ACAD), menggunakan beberapa kaedah dalam

membentuk struktur objek-objek tiga dimensi seperti *Geometri Constructive Solid Geometry (CSG)*, *Boundary Representation (B-rep)* dan *Sweeping*. Kaedah CSG adalah teknik di mana bentuk-bentuk asas seperti kubus dan sfera digabungkan menggunakan operasi *Boolean*. Kaedah CSG juga dapat menggunakan objek pejal dan permukaan untuk membentuk objek yang lebih kompleks. B-rep pula adalah pembentukan objek tiga dimensi dengan menggambarkan objek sebagai titik, garis dan permukaan geometri. Kaedah ini memiliki limitasi kepada pembentukan objek permukaan sahaja. Manakala teknik *sweeping* menggunakan objek dua dimensi yang dilalukan dalam satu laluan untuk membentuk objek tiga dimensi (Xu et al. 2020). Rajah 5 menunjukkan teknik pembentukan CSG, B-rep dan *Sweeping*. Kelas-kelas IFC dapat menggunakan ketiga-tiga teknik yang dinyatakan di atas bagi membentuk objek tiga dimensi namun kelas CityGML hanya dapat menggunakan teknik B-rep kerana semua platform 3D GIS hanya menyokong objek permukaan sahaja (Hajji et al. 2021; Xu et al. 2020; Zadeh et al. 2019; Zhu et al. 2019). Perbezaan teknik ini merupakan salah satu masalah untuk mendapatkan padanan yang tepat semasa proses pemetaan. Sebagai contoh objek dinding di skema IFC mungkin diterjemahkan sebagai objek pejal manakala di dalam CityGML ianya diterjemahkan sebagai permukaan bagi dinding dalam dan dinding luar (Zadeh et al. 2019).

FASA PELAKSANAAN PROJEK		PERANCANGAN	REKA BENTUK AWALAN	REKA BENTUK TERPERINCI	PEMBINAAN	SERAHAN	
Level of Development (LOD)		100	200	300	400	500	
Level of Detail (LOd)							
Level of Information (LOi)	Dimensi	Rim to Sump Height	-	-	1200mm	1200mm	1200mm
		Wall Thickness	-	-	170mm	170mm	170mm
		Floor Thickness	-	-	400mm	400mm	400mm
		Cover Diameter	-	-	600mm	600mm	600mm
		Frame Height	-	-	350mm	350mm	350mm
		Inner Structure Diameter	-	-	1200mm	1200mm	1200mm
		Structure Height	-	-	1600mm	1600mm	1600mm
		Structure Diameter	-	-	1540mm	1540mm	1540mm
	Identiti Data	Pengilang	-	-	-	B Sdn Bhd	B Sdn Bhd
		Material	Reinforced Concrete				
Tarikh Pemasangan		-	-	-	2.2.2021	2.2.2021	

RAJAH 4. Contoh LOd dan LOi komponen BIM mengikut LOD. BIM: Garis panduan JKR (2021)



RAJAH 5. Teknik pembentukan objek 3D

Selain dari itu terdapat juga perbezaan yang lebih mikro dalam pembentukan geometri seperti pembentukan poligon separa bulat yang tidak dapat dipetakan kepada CityGML kerana ketidaktentuan susunan *ifcOrientedEdges* di dalam kelas *ifcEdgeLoop* IFC. Dalam isu ini, pengiraan algoritma pembentukan perlu dilakukan dahulu sebelum dipetakan kepada format CityGML (Adouane et al., 2020).

Platform 3D GIS yang hanya menerima objek permukaan sebagai objek tiga dimensi membuatkan skema CityGML juga direka khusus dalam limitasi tersebut. Justeru itu kaedah algoritma dan perpustakaan tertentu diperlukan bagi menyusun semula objek pejal kepada bentuk objek permukaan.

## GEOREFERENSI

Penggunaan GIS yang lazimnya melibatkan kawasan yang luas, memerlukan faktor kelengkungan bumi diambil kira dengan melaksanakan proses projeksi semasa cerapan dan pemetaan data. Perubahan sistem koordinat melalui proses georeferensi ini menggunakan *Coordinates References System (CRS)* sebagai asas rujukan (Zhu et al. 2019; Stepien et al. 2022). Kebanyakan enjin penghasilan grafik berkerja menggunakan beberapa jenis CRS, antaranya adalah sistem koordinat kartesian yang merupakan sistem rujukan tiga dimensi yang berpusatkan bumi dan sistem koordinat geografi yang merujuk kepada latitud dan longitud bagi mentakrifkan lokasi titik pada permukaan sfera (Zhang et al. 2020).

Sebagai salah satu format yang dipiawaikan bagi kegunaan aplikasi GIS, CityGML sangat mementingkan penggunaan CRS. Di mana setiap koordinat objek menggunakan CRS dan proses tranformasi diperlukan untuk menukar CRS kepada koordinat tempatan atau sebaliknya (Salheb et al. 2020). Berlainan dengan kebanyakan aplikasi BIM, biasanya mewarisi kaedah reka bentuk bersistem komputer (CAD) yang menggunakan koordinat tempatan dan tidak menggambarkan kedudukan geografi sebenar (Diakite & Zlatanova 2020). Namun terdapat juga platform BIM seperti Civil3D dan InfraWork yang dapat menggunakan CRS bagi menentukan koordinat geografi. Melalui proses yang sesuai, CRS ini boleh dikongsi kepada aplikasi BIM yang lain (Kuok et al. 2023).

Di dalam model IFC setiap elemen dan objek memiliki koordinat tempatan yang dikenali sebagai *Local Coordinate System (LCS)*, ianya ditentukan oleh lokasi pusat (*origin*) dan juga arah pada setiap paksi. Setiap titik LCS ini dihubungkan oleh *Local Placement System (LPS)* bagi membentuk objek induk (Zhu et al. 2019; Zhu & Wu 2021a). Walaupun begitu data CRS masih boleh dimasukkan ke dalam model BIM sebagai atribut di kelas *ifcSite*, hal

ini membolehkan model IFC tersebut memiliki CRS yang dapat dipetakan ke dalam format CityGML (Huang et al. 2021).

Justeru itu, penukaran LCS kepada CRS perlu diberikan penekanan bagi memastikan model integrasi berada pada kedudukan sebenar bumi. Proses penukaran ini juga dilihat dapat dilaksanakan semasa proses pembentukan model BIM menggunakan aplikasi BIM tertentu atau semasa proses integrasi itu sendiri.

## KAEDAH INTEGRASI

Muktahir ini terdapat banyak kajian dilaksanakan untuk mencari kaedah terbaik bagi mengintegrasikan format BIM ke GIS atau sebaliknya. Walaupun masih tiada lagi piawai atau garis panduan yang perlu dipatuhi secara terperinci dalam proses integrasi BIM-GIS (Abd et al. 2020) tetapi terdapat beberapa pendekatan teknikal telah dilaksanakan.

Secara umumnya, IFC merupakan format yang digunakan secara meluas dalam teknologi BIM dan CityGML merupakan format bagi objek tiga dimensi yang digunakan secara meluas dalam platform GIS. Pembangunan kedua-dua format ini adalah berasaskan kepada kaedah objek berorientasi (Zhu et al. 2019) yang mana setiap objek geometri dan semantiknya disusun dalam kelas-kelas tersendiri. Persamaan ini membolehkan kedua-dua format tersebut dapat boleh ditukar ganti menggunakan aplikasi penukaran seperti *Feature Manipulation Engine (FME)*. Walaupun format IFC dan GIS boleh ditukar ganti menggunakan aplikasi tertentu, tetapi perbezaan jenis dan jumlah kelas bagi kedua-dua piawai ini mengakibatkan kerumitan dan memberi masalah kepada proses pengintegrasian BIM-GIS (Zhu & Wu, 2021). Masalah ini dapat diatasi dengan menambah kelas atau domain di dalam CityGML menggunakan mekanisma ADE supaya ianya setara dengan kelas IFC (Wilhelm et al. 2021). Mekanisma ADE adalah salah satu ciri yang ada di dalam piawai CityGML, dengan adanya mekanisma ini model data CityGML dapat dikembangkan mengikut keperluan tertentu (Biljecki et al. 2021).

Tanpa menggunakan aplikasi sedia ada, proses pengintegrasian BIM-GIS juga dapat dilaksanakan melalui program yang dibangunkan menggunakan perpustakaan perisian seperti *IfcOpenShell* dan C++ yang berperanan sebagai *IFC parser* atau *Application Programming Interface (API)* (Chen et al. 2020; Santhanavanich et al. 2022). Selain itu juga, terdapat kaedah-kaedah lain bagi mengintegrasikan IFC kepada CityGML seperti yang dilakukan oleh Tang et al. (2022), beliau membangunkan satu kerangka kerja yang menggunakan format baru yang dinamakan sebagai *Particular Asset File (PAF)* sebagai

jambatan kepada IFC dan CityGML. Dalam proses pengintegrasian yang dilaksanakan, format IFC telah dipecahkan kepada tiga bahagian iaitu geometri, material dan karakteristik sebelum ditransformasi kepada PAF dan akhirnya ke format CityGML. Proses ini didapati dapat mengurangkan kehilangan data terutamanya data material. Ding et al. (2020) dalam kajiannya telah membangunkan aplikasi yang menggunakan teknik *Linguistic and Text Mining*, aplikasi ini telah mengubah dan memadamkan nama-nama kelas IFC bagi diselarikan dengan nama kelas CityGML. Sebagai contoh, kumpulan *IfcWallStandardCase* telah dipecahkan kepada beberapa kategori yang lebih terperinci dan dinamakan sebagai *WallSurface*.

Selain kepada format CityGML, *multipatch geometry* di dalam format *shapefile* juga merupakan antara format GIS yang sering digunakan dalam proses integrasi BIM-GIS. Sebagai contoh, Abdul Rahman et al. (2022) telah mengintegrasikan model BIM ke dalam format *Shapefile* menggunakan *multipatch geometry* semasa menjalankan kajian mereka berkenaan simulasi kecemasan. Sebaliknya Cecchini (2019) telah mengestrak data *multipatch geometry* dari *Shapefile* sebelum mengintegrasikan maklumat tersebut ke dalam skema CityGML. Kaedah ini dapat memastikan hubungan objek geometri seperti bumbung, lantai dan dinding adalah tepat di dalam skema CityGML. Walaupun penggunaan *multipatch geometry* memiliki kelebihan dari segi struktur data yang lebih ringan semasa proses integrasi namun ianya berbeza dengan format CityGML yang memiliki kelebihan pengelasan objek dan pengelolaan data semantik yang lebih terperinci (Zhu et al. 2019). Bagi mengatasi masalah ini, Zhu et al. (2021) telah meringkaskan model IFC dengan menyusun semula kelas objek kepada *level of detail* (s-LOD) yang bersesuaian, dalam kajian ini data semantik juga dapat disusun dan dipetakan ke dalam *shapefile*.

Terdapat juga format-format lain yang sering digunakan, contohnya Tarihmen et al. (2020) menggunakan gabungan data geometri BIM serta data geolokasi dari *Google Map* (kml) dan menyimpan data tersebut dalam format *Filmbox* (FBX). Wang et al. (2019) pula telah menggunakan format spatial 3D Model (S3M) dalam Kerangka permodelan rangkaian paip, format ini dilihat dapat memberikan keputusan visualisasi yang lebih baik.

Integrasi BIM-GIS juga tidak terbatas dalam proses pemetaan format file sahaja, terdapat juga kajian-kajian yang hanya menggunakan data BIM dan GIS untuk dikumpulkan di dalam pangkalan data GIS. Sebagai contoh data dari aplikasi rekabentuk BIM seperti Revit diterjemahkan kepada bentuk jadual dan dieksport ke format yang lebih umum seperti excel dan data ini dapat digunakan oleh kebanyakan aplikasi sokongan GIS (Grimaldi et al., 2022). Zhao et al. (2022) telah membangunkan satu pangkalan berasaskan GIS bagi

mengantikan penggunaan aplikasi Web GIS, sistem pangkalan yang dibangunkan ini menerima format IFC dan CityGML tanpa perlu melaksanakan pemetaan secara manual. Mirip kepada itu, Abd et al. (2020) menggunakan aplikasi *InfraWork* untuk menyimpan data BIM dan GIS, kaedah ini dilihat lebih mudah tanpa melibatkan proses pemodelan oleh aplikasi ketiga. Borkowski et al. (2023) dalam kajiannya, telah menggunakan data-data dari pelbagai sumber untuk memodelkan model lanskap di dalam aplikasi Revit sebelum mengintegrasikan data ke aplikasi ArcGIS yang dilakukan dengan alatan khusus.

Selain itu, pendekatan lain seperti penggunaan teknologi web semantik yang mengubah langsung kelas IFC dan CityGML ke dalam sistem RDF (*Resource Description Framework*) juga ada digunakan. Penggunaan teknologi ini dalam pertukaran data dapat meningkatkan interoperabiliti data (Zhao et al. 2019b). Dengan menggunakan teknologi web semantik, data saling berhubung disusun menggunakan struktur dasar ontologi seperti RDF dan juga OWL (*Web Ontology Language*). Data-data tersebut kemudiannya boleh di tanya menggunakan piawai lazim seperti SPARQL (*RDF Query Language*) (Stepien et al. 2022). Lebih jauh dari itu ontologi khusus juga dicadangkan bagi domain robotik dan BIM yang membolehkan perkongsian data antara domain tersebut. Ontologi yang digunakan dibangunkan khusus bagi bidang pembinaan dan mengandungi informasi yang diperlukan bagi navigasi robotik seperti data geometri, informasi bahan binaan dan informasi tapak bina secara masa hakiki (Karimi et al. 2021).

Walaupun kebanyakan integrasi yang dijalankan oleh kajian terdahulu hanya melibatkan transformasi satu arah sahaja dan transformasi bagi dua arah BIM-GIS-BIM adalah suatu yang sukar untuk dilaksanakan (Zhu et al. 2019). Namun integrasi BIM-GIS dapat dilakukan melalui pelbagai kaedah seperti pertukaran format, pembangunan pangkalan data, pemanfaatan web semantik dan lain-lain. Kepelbagaian kaedah ini memungkinkan pertukaran data yang lebih efektif, analisis yang lebih holistik dan visualisasi yang lebih sesuai berdasarkan keperluan spesifik kegunaan tertentu. Jadual 1 menunjukkan kaedah integrasi yang telah dijalankan oleh kajian terdahulu. Daripada carta tersebut dapat disimpulkan bahawa integrasi melalui pertukaran format adalah yang lebih popular dilaksanakan. Ianya kerana kaedah ini bersifat lebih dinamik dan mudah untuk disesuaikan sekiranya melibatkan



JADUAL 1. Kaedah integrasi kajian terdahulu

Bil	Kaedah Integrasi	Penerangan Kaedah	Pengkaji (Tahun)
1	Pertukaran fail format. (BIM-GIS)	Data dari fail tunggal pada model BIM (IFC /Fail platform asal) di tukarkan ke fail tunggal model 3D GIS (Shapefile/CityGML).	.Biljecki et al. (2021), Cecchini (2019), Diakite & Zlatanova (2020), Ding et al. (2020), Hajji et al. (2021), Leng et al. (2021), Salheb et al. (2020), Sharafat et al. (2021), Sun et al. (2020), Abdul Rahman et al. (2020), Tang et al. (2022), Tarihmen et al. (2020), M. Wang et al. (2019), Wilhelm et al. (2021), Zhao et al. (2019a), Zhu et al. (2019) dan Zhu & Wu (2021).
2	Penglibatan pangkalan data platform GIS	Data-data dimasukkan terus ke pangkalan data GIS menggunakan aplikasi dan teknik tertentu tanpa melalui pertukaran fail model 3D GIS (Shapefile/CityGML)	Alsaggaf & Jrade (2023), Barzegar et al. (2021), Gnädinger & Roth (2021), Grimaldi et al. (2022), Huang et al. (2021), Liu et al. (2021), Moretti et al. (2021), S. Wang et al. (2019), Xu et al. (2020), Ying et al. (2021), Zadeh et al. (2019), Zhang et al. (2020) dan Zhao et al. (2022).
3	Pemanfaatan Web Semantik	Pembangunan web semantik bagi menguruskan data spatial (tidak menggunakan platform BIM/GIS)	Beck et al. (2021), Karimi et al. (2021), Li et al. (2020), Stepien et al. (2022) Zhao et al. (2019b) dan Zhu et al. (2021).
4	Lain-lain		Abd et al. (2020), Borkowski et al. (2023), Chen et al. (2020), Dong et al. (2019), Su et al. (2021) dan Vacca & Quaquero, 2020).

data yang tidak seragam. Manakala kaedah kedua tertinggi, iaitu penglibatan pangkalan data platform GIS juga menjadi pilihan kerana kemasukan data ke dalam sistem dapat dilaksanakan secara automasi.

#### KEGUNAAN MODEL INTEGRASI

Gabungan teknologi BIM dan GIS atau lebih dikenali sebagai GeoBIM (Noardo et al. 2019) memberikan kelebihan dalam menyelesaikan masalah bagi kedua-dua bidang. Namun lambakan dan kekayaan data terutama daripada model BIM menyebabkan terjadinya penyukaran kerja-kerja integrasi. Ianya juga dapat menyebabkan kehilangan data semasa integrasi. Justeru itu pembangunan aplikasi yang mempunyai fokus khusus adalah lebih sesuai dan mudah dibangunkan kerana lebih tertumpu pada data yang diperlukan sahaja (Biljecki et al. 2021).

Antara kegunaan yang popular dan mendapat perhatian yang meluas adalah fungsi navigasi dalaman dan simulasi tindakan kecemasan. Fungsi navigasi memberikan manfaat kepada keselamatan diri dan harta benda semasa kecemasan. Kegunaan ini juga menjadi lebih penting apabila melibatkan bangunan bertingkat yang kompleks (Sun et al. 2020). Abdul Rahman et al. (2020) dalam kajian berkenaan simulasi perpindahan semasa kecemasan telah menggabungkan maklumat geometri dan semantik model GeoBIM bagi menghasilkan topologi laluan kecemasan. Dapatan kajian menunjukkan topologi laluan yang dihasilkan melalui model integrasi ini adalah menyerupai pilihan laluan yang sama semasa penelitian di tapak. Fungsi navigasi juga dapat digunakan semasa fasa pembinaan,

model 4D BIM yang diintegrasikan dengan aplikasi WebGIS (ArcGIS dan Cesium) dilihat lebih mudah digunakan berbanding aplikasi BIM (synchro) itu sendiri. Manakala penyimpanan data berpusat dan bersepadu memberi peluang kepada kebarangkalian automasi di masa hadapan seperti automasi pengesanan pertembungan (Liu et al. 2021). Penggunaan aplikasi atas talian membolehkan pelaksanaan simulasi dan pemantauan dilaksanakan dengan lebih fleksibel (Zhao et al. 2022).

Dengan kebolehan fungsi pertanyaan (*query*) pada aplikasi GIS yang dibangunkan menggunakan model GeoBIM ini, pengurusan fasiliti dapat diurus dengan lebih teratur. Fungsi ini membolehkan kerja-kerja pengurusan dan penyenggaraan dilakukan dengan bantuan maklumat yang dibawa dari fasa pembinaan sebelumnya (Dong et al. 2019). Pada masa yang sama, analisis spatial dapat mengoptimalkan pengoperasian, ruang dan sumber manakala maklumat lokasi setiap aset dapat menjimatkan kos pembelian dan pengangkutan melalui perancangan yang teratur (Zadeh et al. 2019). Data rangkaian jalan dan lokasi pembekal juga mendapat manfaat terhadap daripada pengaplikasian ini (Uzairuddin & Jaiswal 2022). Selain itu, model GeoBIM mampu memberikan manfaat untuk pelaksanaan kerja-kerja pelupusan aset dan bangunan itu sendiri. Ini adalah kerana, dengan data yang cukup berkenaan sesebuah fasiliti membolehkan kerja pelupusan dilaksanakan dengan optimum dan memberikan impak yang lebih positif kepada alam sekitar (Su et al. 2021). Penggunaan model ini bukan hanya dapat membantu rutin penyenggaraan harian namun boleh membina kerangka kognitif yang mampu mengembangkan sokongan dan

pengetahuan yang lengkap mengenai fasiliti tersebut (Vacca & Quaquerro 2020).

Selain pengurusan fasiliti bangunan terdapat juga kajian yang menjurus kepada pengurusan fasiliti luar seperti yang dijalankan oleh Zhao et al. (2019). Kajian yang berfokuskan kepada pengurusan agihan bekalan air ini, telah membuktikan bahawa GeoBIM dapat membantu dalam perancangan bekalan air dan menentukan laluan paip yang sesuai sekaligus menyelesaikan masalah kepadatan ruang laluan. Sharafat et al. (2021) dan Wang et al. (2019) telah membina sebuah kerangka kerja bagi pengurusan fasiliti bawah tanah yang mengabungkan data dari model BIM dan GIS. Model as-built yang dihasilkan melalui kerangka ini dapat mengoptimalkan rekabentuk dan membantu kerja-kerja penggalian di tapak. Pada masa yang sama, Borkowski et al. (2023) membangunkan model lanskap yang dikenali sebagai *Landscape Information Model* (LIM). Model tersebut telah mengabungkan beberapa data seperti data bangunan, plan pembangunan, peta agrikultur dan pelbagai lagi untuk membina LIM menggunakan perisian Revit. Gabungan data dari pelbagai sumber dan profesion secara sistematik seperti ini mampu untuk menjadi piawai dalam melaksanakan perancangan dan rekabentuk kerja lanskap (Gnädinger & Roth 2021).

Kebolehan GIS dalam menggambarkan persekitaran secara makro dan kebolehan BIM memperincikan maklumat mikro, memberikan kelebihan semasa proses analisis dan rekabentuk (Xu et al. 2020). Hubungkait antara data luaran dan dalaman membolehkan semak silang dilaksanakan terhadap rekabentuk luar dan dalaman bangunan. Sebagai contoh posisi tingkap bangunan dapat ditentukan dengan bantuan topologi luaran yang memiliki data bukit dan arah matahari (Leng et al., 2021). Meluas lagi terhadap kegunaan integrasi ini, ianya juga dapat memberi manfaat kepada rekabentuk projek yang melibatkan topologi yang luas dan memanjang seperti projek jajaran terutama semasa fasa perancangan dan rekabentuk. Sebagai contoh Zhao et al. (2019) telah menggunakan maklumat yang terdapat dalam model BIM dan web GIS dalam menentukan jajaran jalan yang terbaik. Manakala Stepien et al. (2022) pula telah membina model integrasi GeoBIM dan menjalankan pertanyaan bagi menentukan rekabentuk laluan projek terowong.

Satu lagi kegunaan yang sangat besar adalah dalam bidang perancangan dan pengurusan bandar. Model BIM yang diintegrasikan dalam persekitaran GIS dapat membantu dalam merancang, mengawal dan merekabentuk ruang sebuah bandar yang sangat kompleks dan sesak (Grimaldi et al. 2022). Integrasi ini dapat membangunkan pangkalan data yang mengandungi maklumat persekitaran seperti sistem rangkaian utiliti dan juga data berkaitan maklumat terperinci setiap bangunan seperti ruangan spatial. Dengan adanya pangkalan data yang lengkap ini,

membantu pihak pentadbir dan penguasa dalam membuat keputusan yang tepat (Y. S. Huang et al. 2021). Sebagai contohnya, perancangan tenaga bagi sebuah bandar mega dapat dioptimumkan dengan adanya maklumat penggunaan tenaga bagi setiap bangunan sedia ada dan juga bangunan yang bakal dibangunkan kelak. Pengurusan data kadaster terutama bagi bangunan bertingkat juga tidak mustahil untuk dilaksanakan (Hajji et al. 2021). Pemuliharaan bangunan sejarah yang menjadi kazanan negara mendapat manfaat terhadap pangkalan data ini, ianya membolehkan data sejarah disimpan dan dimanfaatkan dengan lebih berkesan dan cekap (Cecchini 2019).

Dengan menggabungkan informasi yang kaya dengan keperincian bangunan dan maklumat geografi, dapat memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif dan meluas. Kegunaan gabungan ini juga dilihat dapat memberikan manfaat terhadap kedua-dua bidang dan tidak terbatas kepada kegunaan navigasi bangunan, pengurusan fasiliti, dan perancangan bandar. Jadual 2 menunjukkan beberapa kegunaan integrasi BIM-GIS. Daripada jadual tersebut jelaslah bahawa setiap integrasi yang dilaksanakan perlu dilihat dalam perspektif atau sudut pandang khusus bagi mencapai matlamat integrasi BIM-GIS. Integrasi yang tidak berfokus kepada domain atau penggunaan tertentu akan menyebabkan model dan data tidak dapat diuruskan dengan baik dan akhirnya menyebabkan kehilangan data dalam proses integrasi tersebut.

## SISTEM SALIRAN DALAM APLIKASI GIS 3D

Hidraulik dan hidrologi adalah dua bidang yang tidak dapat dipisahkan apabila perbincangan berkaitan sistem saliran dibahaskan. Keperluan data yang besar dan pelbagai semasa analisis dijalankan, mendorong para pengkaji untuk melihat kepada keperluan analisis dalam bentuk 3D. Justeru itu penulisan ini melihat secara khusus berkenaan kajian-kajian terdahulu yang memanfaatkan aplikasi 3D dalam pengurusan sistem saliran.

Terdapat beberapa pengkaji yang telah memulakan kajian, berkenaan integrasi BIM-GIS dalam sistem saliran, antaranya Yang et al. (2021) yang telah menguraikan model IFC menggunakan *IFC parsing toolkit (ifcOpenShell)* untuk mendapatkan data hidraulik saliran. Data ini kemudiannya disimpan dalam pangkalan data GIS dan digunakan dalam Mesin Pengiraan Khusus Domain (DCEs) untuk menjalankan analisis banjir. Integrasi data BIM-GIS ini dapat memberikan nilai tambah semasa proses pra-penilaian dan pasca-penilaian dalam simulasi DCEs. Shen et al. (2020) pula membangunkan kelas CityGML ADE bagi sistem saliran yang dikenali sebagai *Waterlogging*

*Application Domain Extension* (CTWLADE). CTWLADE yang disimpan di dalam pangkalan data GIS dapat ditanya mengikut keperluan format aplikasi pengurusan air ribut lainnya. Kelas CityGML ADE ini digunakan dalam membantu menguruskan masalah genangan air. Terdapat juga beberapa pengkaji telah membina kerangka kerja bagi mengoptimumkan manfaat aplikasi BIM-GIS dalam menguruskan saluran utiliti bawah tanah seperti yang dijalankan oleh Sharafat et al. (2021) dan Wang et al. (2019). Dalam kajian yang lain, Tang et al. (2022) telah menambahkan beberapa modul alat pengesan ke dalam kerangka integrasi BIM-GIS bagi membolehkan pemantauan dilaksanakan secara masa sebenar. Kuok et al. (2023) menggunakan aplikasi InfraWork bagi melaksanakan analisis daerah aliran air, rekabentuk dan penyimpanan data model.

Menggunakan data sedia ada di dalam aplikasi GIS, Abbas et al. (2019) memodelkan sistem saluran 3D dan seterusnya dimasukkan kembali ke dalam aplikasi GIS. Dalam kajian ini, tiga aplikasi percuma yang dinamakan *Auto numbering*, *get elevation* dan *Excel2GIS* digunakan untuk mengambil dan menyimpan data dalam aplikasi GIS. Martin et al. (2020) telah membangunkan aplikasi simulasi yang dapat menggunakan data heterogen dari pelbagai sumber termasuk aplikasi GIS. Data heterogen yang disatukan dalam satu sistem adalah kunci utama dalam penyediaan aplikasi simulasi yang baik (Zhi et al. 2019).

Gharaibeh et al. (2023) pula menggunakan peralatan mobil lidar dalam usaha mengumpulkan data geometri dan kapasiti hidraulik saluran tepi jalan, data tersebut kemudiannya dimasukkan dalam aplikasi GIS untuk analisis visualisasi.

JADUAL 2. Faedah dan kegunaan integrasi BIM-GIS

Bil	Persekitaran	Faedah/Kegunaan	Pengkaji (Tahun)
1	Bangunan: Persekitaran dalaman	Visualisasi, simulasi navigasi, simulasi kecemasan, pengurusan fasiiti, penggunaan ruang.	Biljecki et al. (2021), Chen et al. (2020), Hajji et al. (2021), Sun et al. (2020), Abdul Rahman et al. (2020) Tarihmen et al. (2020).
2	Pengurusan tapak bina	Visualisasi, pengawasan kerja, simulasi 4D, perancangan kerja, simulasi sumber	Abd et al. (2020), Alsaggaf & Jrade (2023), Karimi et al. (2021), Leng et al. (2021), Liu et al. (2021), Zhao et al. (2022).
3	Perancangan bandar	Visualisasi, simulasi bencana, perancangan tenaga, pengurusan traffic, guna tanah, simulasi kelestarian.	Barzegar et al. (2021), Cecchini (2019), Grimaldi et al. (2022), Huang et al. (2021), Li et al. (2020), Moretti et al. (2021), Su et al. (2021), Uzairuddin & Jaiswal (2022), Ying et al. (2021), Zadeh et al. (2019).
4	Lanskap	Visualisasi, rekabentuk, perancangan, impak alam sekitar, pengurangan konflik.	Borkowski et al. (2023), Gnädinger & Roth (2021), Wilhelm et al. (2021).
5	Infrastruktur: Pengangkutan	Visualisasi, penyelenggaraan, pengurusan fasiliti, rekabentuk lestari.	Dong et al. (2019), Stepien et al. (2022), Zhao et al. (2019).
6	Infrastruktur: Utiliti	Visualisasi, simulasi penyelenggaraan, perancangan utiliti, rekabentuk.	Sharafat et al. (2021), Tang et al. (2022), M. Wang et al. (2019), S. Wang et al. (2019), Zhang et al. (2020), Zhao et al. (2019a).
7	Kerangka kerja integrasi	Pemetaan spatial, simulasi visual, interoperabiliti.	Beck et al. (2021), Diakite & Zlatanova (2020), Ding et al. (2020), Salheb et al. (2020), Vacca & Quaquero (2020), Xu et al. (2020), Zhu et al. (2019, 2021), Zhu & Wu (2021).

SOP yang dibina ini dapat membantu pihak berwajib dalam melaksanakan penyelenggaraan dan mitigasi banjir. See et al. (2020) pula telah menetapkan prosedur operasi standard (SOP) bagi kerja-kerja pemetaan digital dalam aplikasi GIS. Beliau telah menggunakan aplikasi

*OpenStreetMap* dan juga *Field Paper* dalam membangunkan SOP ini. See et al. (2020) juga mendapati dengan adanya satu SOP bagi kerja-kerja pendigitalan sistem saluran dapat membantu penyediaan data yang tepat untuk kegunaan dimasa hadapan. Selain itu, Huang et al. (2022) telah

menjalankan semakan kerosakan paip saluran bawah tanah dengan mengaplikasikan model BIM dan data *point cloud*. Hasil kajiannya mendapati perbezaan kerosakan yang diukur berbanding keadaan sebenar hanyalah dalam lingkungan 10% dan membuktikan bahawa bantuan model BIM dan *point cloud* adalah sangat membantu dalam kerja-kerja penyenggaraan. Secara umum, penggunaan data 3D dalam pengurusan sistem saluran dapat memberikan lebih banyak maklumat dan manfaat, penggunaan ini dapat dipertingkatkan lagi dengan integrasi BIM-GIS kerana ianya dapat memastikan pengumpulan data dikumpul dan diurus sepanjang kitar hayat sistem. Jadual 3 menunjukkan senarai kajian yang menggunakan data 3D dalam pengurusan sistem saluran. Daripada dua belas (12) artikel yang telah diperhatikan terdapat enam (6) daripadanya telah menggunakan teknologi BIM dalam proses 3D GIS. Ini telah membuktikan terdapat potensi yang sangat besar dalam mengembangkan penggunaan integrasi BIM-GIS bagi domain pengurusan sistem saluran. Penambahbaikan dalam membina kerangka integrasi tersebut seperti mengoptimumkan penggunaan data BIM dan GIS boleh membuka ruang yang lebih besar terhadap kajian-kajian masa hadapan.

## KESIMPULAN DAN CADANGAN

Proses rekabentuk melibatkan banyak disiplin dan sangat rumitkan, tambahan pula kebanyakan pereka memiliki aplikasi rekabentuk tersendiri yang hanya berfokus kepada tujuan masing-masing. Bagi menghasilkan model IFC yang lengkap beberapa aplikasi lain dan proses yang betul perlu diasimilasikan sebelum dihantar kepada format IFC. Sebagai contoh aplikasi Revit hanya memberikan fokus kepada pemodelan namun tidak memiliki fungsi khas bagi menyelesaikan masalah kedudukan geografi model, justeru itu padanan dengan aplikasi Civil3D dapat melengkapkan model dengan data CRS (Jabatan Kerja Raya Malaysia 2021). Proses pewujudan data yang lengkap ini adalah proses awal yang sangat penting bagi memastikan model yang diintegrasikan memiliki keperluan data yang mencukupi.

BIM dan GIS adalah dua bidang yang jauh berbeza dari segi kegunaan, proses kerja mahupun pemegang tarungnya. Setiap bidang ini mempunyai format piawai

masing-masing yang telah diperakui. Namun format selain CityGML seperti *shapefile* masih lagi relevan untuk digunakan bagi mengelakkan kerumitan semasa pemetaan dilaksanakan. Walaupun ada usaha untuk melaksanakan integrasi BIM-GIS secara automatik, namun disebabkan beberapa faktor seperti perbezaan skema, aplikasi dan persekitaran membuatkan proses pemetaan perlu dilaksanakan secara manual bagi mengelakkan kehilangan data (Gnädinger & Roth, 2021). Ketiadaan rangka kerja dan piawaian bagi setiap domain khusus menyebabkan proses integrasi secara manual masih dilaksanakan sehingga kini (Wei et al. 2021). Justeru itu adalah penting mewujudkan satu protokol piawai integrasi di peringkat organisasi mahupun nasional.

1. Penulisan ini telah melihat kepada idea dan cabaran terhadap kajian-kajian yang lepas berkaitan integrasi BIM-GIS dari segi pengurusan data, kaedah integrasi dan kegunaannya. Dari penelitian yang dilaksanakan, didapati integrasi BIM-GIS banyak memberi manfaat kepada kehidupan masa kini yang mengutamakan informasi yang tidak terbatas. Bagi menambahbaik kajian yang bakal dilaksanakan di masa hadapan, dicadangkan beberapa perkara berikut:
2. Pemilihan aplikasi dan proses BIM yang sesuai bagi mewujudkan model BIM.
3. Penggunaan skema IFC kepada format GIS bagi membolehkan menyusun kelas.
4. Mewujudkan domain atau kegunaan khusus bagi menentukan parameter yang diperlukan.

Mewujudkan protokol piawai integrasi bagi sistem saluran. Dalam usaha mewujudkan sebuah bandar pintar bagi memenuhi Matlamat Pembangunan Lestari (SDG) di Malaysia, integrasi BIM-GIS dilihat sebagai salah satu kunci kepada kejayaan ini. Teknologi ini memainkan peranan penting dalam mengintegrasikan data berkaitan dengan pembangunan dan pengurusan bandar, yang pada akhirnya akan meningkatkan penyampaian. Seiring dengan manfaatnya terdapat juga cabaran yang perlu diatasi bagi melaksanakan perlaksanaan ini. Justeru itu diharapkan penulisan ini dapat membantu dalam pembangunan protokol serta piawai bagi kegunaan jabatan kerajaan mahupun pihak swasta yang akhirnya dapat menyumbang kepada kerangka dasar SDG negara.

JADUAL 3. Aplikasi GIS dan data 3D dalam sistem saliran

Bil	Pengkaji (Tahun)	Aplikasi		Fokus Kajian	Cadangan Masa Hadapan
		BIM	GIS		
1	Yang et al. (2021)	/	/	Membangunkan kerangka kerja bagi kawalan banjir.	Menggunakan gabungan data spatial dan model BIM.
2	Kuok et al. (2023)	/	X	Autodesk InfraWork sebagai aplikasi rekabentuk, pemodelan dan pangkalan data.	Penggunaan aplikasi GIS dapat meningkatkan fungsi kuari.
3	Shen et al. (2020)	/	/	Membangunkan CityGML/ADE (CTWL/ADE) bagi kegunaan domain sistem saliran.	Menggunakan gabungan data spatial dan model BIM.
4	Abbas et al. (2019)	X	/	Memodelkan sistem saliran menggunakan data respotori GIS.	Penggunaan integrasi data BIM dapat meningkatkan kualiti dan ketepatan data.
5	See et al. (2020)	X	/	Membangunkan protokol piawai bagi membina peta sistem saliran.	Penggunaan integrasi data BIM dapat meningkatkan kualiti dan ketepatan data.
6	Gharaibeh et al. (2023)	X	/	Mengukur geometri dan kapasiti hidraulik saliran sedia ada.	Penggunaan integrasi data BIM dapat meningkatkan kualiti dan ketepatan data.
7	Huang et al. (2022)	/	X	Menguruskan kerosakan paip bawah tanah.	Penggunaan aplikasi GIS dapat meningkatkan fungsi kuari.
8	Martin et al. (2020)	X	/	Membangunkan aplikasi simulasi.	Penggunaan integrasi data BIM dapat meningkatkan kualiti dan ketepatan data.
9	Zhi et al. (2019)	/	/	Membangunkan kerangka visualisasi 3D.	Menggunakan gabungan data spatial dan model BIM.
10	Sharafat et al. (2021); Tang et al. (2022); M. Wang et al. (2019)	/	/	Membangunkan kerangka pengurusan 3D utiliti bawah tanah.	Menggunakan gabungan data spatial dan model BIM.

## PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) atas geran penyelidikan Dana Impak Perdana (DIP-2021-006) dan juga Jabatan Kerja Raya di atas bantuan dana menjayakan projek ini.

## PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada

## RUJUKAN

- Abbas, A., Salloom, G., Ruddock, F., Alkhaddar, R., Hammoudi, S., Andoh, R. & Carnacina, I. 2019. Modelling data of an urban drainage design using a Geographic Information System (GIS) database. *Journal of Hydrology* 574: 450–466.
- Abd, A.M., Hameed, A.H. & Nsaif, B.M. 2020. Documentation of construction project using integration of BIM and GIS technique. *Asian Journal of Civil Engineering* 21(7): 1249–1257.
- Adouane, K., Stouffs, R., Janssen, P. & Domer, B. 2020. A model-based approach to convert a building BIM-IFC data set model into CityGML. *Journal of Spatial Science* 65(2): 257–280.
- Alsaggaf, A. & Jade, A. 2023. CSCE Annual Conference Growing with youth-Croître avec les jeunes Laval (Greater Montreal) Arcspat: An integrated bim-gis model for site layout planning. *International Journal of Construction Management* 23(3): 505–527.
- Barzegar, M., Rajabifard, A., Kalantari, M. & Atazadeh, B. 2021. An IFC-based database schema for mapping BIM data into a 3D spatially enabled land administration database. *International Journal of Digital Earth* 14(6): 736–765.
- Beck, S.F., Abualdenien, J., Hijazi, I.H., Borrmann, A. & Kolbe, T.H. 2021. Analyzing contextual linking of heterogeneous information models from the domains bim and uim. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(12)
- Biljecki, F., Lim, J., Crawford, J., Moraru, D., Tauscher, H., Konde, A., Adouane, K., Lawrence, S., Janssen, P. & Stouffs, R. 2021. Extending CityGML for IFC-sourced 3D city models. *Automation in Construction* 121
- Borkowski, A.S., Kochański, Ł. & Wyszomirski, M. 2023. A Case Study on Building Information (BIM) and Land Information (LIM) Models Including Geospatial Data. *Geomatics and Environmental Engineering* 17(1): 19–34.
- Carstens, A. 2019. BIM & GIS – New dimensions of improved collaboration for infrastructure and environment. *Journal of Digital Landscape Architecture* 2019(4): 114–121.
- Cecchini, C. 2019. from data to 3d digital archive a gis-bim spatial database for the historical centre of pavia (italy). *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* Vol. 24 <http://www.itcon.org/2019/24>.
- Chen, Q., Chen, J. & Huang, W. 2020. Method for generation of indoor GIS models based on BIM models to support adjacent analysis of indoor spaces. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(9)
- Demir Altıntaş, Y. & Ilal, M.E. 2021. Loose coupling of GIS and BIM data models for automated compliance checking against zoning codes. *Automation in Construction* 128
- Diakite, A.A. & Zlatanova, S. 2020. Automatic georeferencing of BIM in GIS environments using building footprints. *Computers, Environment and Urban Systems* 80
- Ding, X., Yang, J., Liu, L., Huang, W. & Wu, P. 2020. Integrating IFC and CityGML model at schema level by using linguistic and text mining techniques. *IEEE Access* 8: 56429–56440.
- Dong, L.L., Wu, J., Wang, W. & Xie, Y.B. 2019. Full lifecycle digital control of urban rail transit property based on the integration between CAD, GIS and BIM. *Advances in Transportation Studies* 2(Special Issue): 15–26.
- Gharaibeh, N.G., Lee, C.-C. (Barry), Alhalbouni, T., Wang, F., Lee, J., Newman, G., Güneralp, B. & Van Zandt, S. 2023. Quality of Stormwater Infrastructure Systems in Vulnerable Communities: Three Case Studies from Texas. *Public Works Management & Policy* 1087724X2311644.
- Gnädinger, J. & Roth, G. 2021. Applied integration of gis and bim in landscape planning. *Journal of Digital Landscape Architecture* 2021(6): 324–331.
- Grimaldi, M., Giordano, C., Graziuso, G., Barba, S. & Fasolino, I. 2022. A GIS-BIM Approach for the Evaluation of Urban Transformations. A Methodological Proposal. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 18: 247–254.
- Habeeb, N.J. & Weli, S.T. 2021. Combination of GIS with Different Technologies for Water Quality: An Overview. *HighTech and Innovation Journal* 2(3): 262–272.
- Hajji, R., Yaagoubi, R., Meliana, I., Laafou, I. & Gholabzouri, A. El. 2021. Development of an integrated BIM-3D GIS approach for 3D cadastre in morocco. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(5)
- Huang, F., Wang, N., Fang, H., Liu, H. & Pang, G. 2022. Research on 3D Defect Information Management of Drainage Pipeline Based on BIM. *Buildings* 12(2)
- Huang, Y.S., Shih, S.G. & Yen, K.H. 2021. An integrated GIS, BIM and facilities infrastructure information

- platform designed for city management. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A* 44(4): 293–304.
- Jabatan Kerja Raya Malaysia. 2021. *BIM Garis Panduan JKR*. Edisi ke-2
- Karimi, S., Iordanova, I. & St-Onge, D. 2021. Ontology-based approach to data exchanges for robot navigation on construction sites. *Journal of Information Technology in Construction* 26: 546–565.
- Kuok, K.K., Kingston Tan, K.W., Chiu, P.C., Chin, M.Y., Rahman, M.R. & Bin Bakri, M.K. 2023. Application of Building Information Modelling (BIM) Technology in Drainage System Using Autodesk InfraWorks 360 Software. *Lecture Notes in Civil Engineering* Vol. 293, hlm. 209–224. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- Leng, S., Lin, J.R., Li, S.W. & Hu, Z.Z. 2021. A data integration and simplification framework for improving site planning and building design. *IEEE Access* 9: 148845–148861.
- Li, W., Zlatanova, S., Diakite, A.A., Aleksandrov, M. & Yan, J. 2020. Towards integrating heterogeneous data: A spatial DBMS solution from a CRC-LCL project in Australia. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(2)
- Liu, A.H., Ellul, C. & Swiderska, M. 2021. Decision making in the 4th dimension-exploring use cases and technical options for the integration of 4D BIM and GIS during construction. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(4)
- Martin, C., Kamara, O., Berzosa, I. & Badiola, J.L. 2020. Smart GIS platform that facilitates the digitalization of the integrated urban drainage system. *Environmental Modelling and Software* 123
- Moretti, N., Ellul, C., Re Cecconi, F., Papapesios, N. & Dejaco, M.C. 2021. GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making. *Automation in Construction* 130
- Noardo, F., Arroyo Ohori, K., Biljecki, F., Krijnen, T., Ellul, C., Harrie, L. & Stoter, J. 2019. Geobim benchmark 2019: Design and initial results. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* Vol. 42, hlm. 1339–1346. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Salheb, N., Arroyo Ohori, K. & Stoter, J. 2020. AUTOMATIC CONVERSION of CITYGML to IFC. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* Vol. 44, hlm. 127–134. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Santhanavanich, T., Padsala, R., Würstle, P. & Coors, V. 2022. The Spatial Data Infrastructure of An Urban Digital Twin in the Building Energy Domain Using Ogc Standards. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* Vol. 10, hlm. 249–256. Copernicus Publications.
- See, L.S., Calo, L., Bannon, B. & Opdyke, A. 2020. An open data approach to mapping urban drainage infrastructure in developing communities. *Water (Switzerland)* 12(7)
- Sharafat, A., Khan, M.S., Latif, K., Tanoli, W.A., Park, W. & Seo, J. 2021. Bim-gis-based integrated framework for underground utility management system for earthwork operations. *Applied Sciences (Switzerland)* 11(12)
- Shen, J., Zhou, J., Zhou, J., Herman, L. & Reznik, T. 2020. Constructing the City GML ADE for the multi-source data integration of urban flooding. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(6)
- Stepien, M., Jodehl, A., Vonthron, A., König, M. & Thewes, M. 2022. An approach for cross-data querying and spatial reasoning of tunnel alignments. *Advanced Engineering Informatics* 54
- Su, S., Li, S., Ju, J., Wang, Q. & Xu, Z. 2021. A building information modeling-based tool for estimating building demolition waste and evaluating its environmental impacts. *Waste Management* 134: 159–169.
- Sun, Q., Zhou, X. & Hou, D. 2020. A simplified citygml-based 3d indoor space model for indoor applications. *Applied Sciences (Switzerland)* 10(20): 1–22.
- Syed Abdul Rahman, S.A.F., Abdul Maulud, K.N. & Syed Mustorpha, S.N.A. 2020. Perancangan dan pengujian pemindahan pengguna melalui simulasi tindakbalas kecemasan 3D. *Malaysian Journal of Society and Space* 16(3) <http://ejournals.ukm.my/gmjss/article/view/38208>.
- Syed Abdul Rahman, S.A.F., Abdul Maulud, K.N., Syed Mustorpha, S.N.A., Shaharuddin, S. & Che Ani, A.I. 2022. Implementation of BIM-GIS Geometry for User Navigation in the Indoor Environment: A Review. *Jurnal Kejuruteraan* 34(2): 211–221. <http://www.ukm.my/jkukm/wp-content/uploads/2022/3402/04.pdf>.
- Tang, L., Chen, C., Li, H. & Mak, D.Y.Y. 2022. Developing a BIM GIS-Integrated Method for Urban Underground Piping Management in China: A Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management* 148(9)
- Tarihmen, B., Diyarbakirli, B., Kanbur, M.O. & Demirel, H. 2020. Indoor navigation system of faculty of civil engineering, ITU: A BIM approach. *Baltic Journal of Modern Computing* 8(2): 359–369.
- Uzairuddin, S. & Jaiswal, M. 2022. Digital monitoring and modeling of construction supply chain management scheme with BIM and GIS: An overview. *Materials Today: Proceedings* 65: 1908–1914.
- Vacca, G. & Quaquero, E. 2020. BIM-3D GIS: an integrated system for the knowledge process of the buildings. *Journal of Spatial Science* 65(2): 193–208.

- Wang, M., Deng, Y., Won, J. & Cheng, J.C.P. 2019. An integrated underground utility management and decision support based on BIM and GIS. *Automation in Construction* 107
- Wang, S., Sun, Y., Sun, Y., Guan, Y., Feng, Z., Lu, H., Cai, W. & Long, L. 2019. A hybrid framework for high-performance modeling of three-dimensional pipe networks. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(10)
- Wei, J., Chen, G., Huang, J., Xu, L., Yang, Y., Wang, J. & Sadick, A.M. 2021. Bim and gis applications in bridge projects: A critical review. *Applied Sciences (Switzerland)* 11(13)
- Wilhelm, L., Donaubaue, A. & Kolbe, T.H. 2021. Integration of bim and environmental planning: The citygml envplan ade. *Journal of Digital Landscape Architecture* 2021(6): 332–343.
- Xu, Z., Zhang, L., Li, H., Lin, Y.H. & Yin, S. 2020. Combining IFC and 3D tiles to create 3D visualization for building information modeling. *Automation in Construction* 109
- Yang, Y., Ng, S.T., Dao, J., Zhou, S., Xu, F.J., Xu, X. & Zhou, Z. 2021. BIM-GIS-DCEs enabled vulnerability assessment of interdependent infrastructures – A case of stormwater drainage-building-road transport Nexus in urban flooding. *Automation in Construction* 125
- Ying, S., Xu, Y., Li, C., Guo, R. & Li, L. 2021. Easement spatialization with two cases based on LADM and BIM. *Land Use Policy* 109
- Zadeh, P.A., Wei, L., Dee, A., Pottinger, R. & Staub-French, S. 2019. BIM-CITYGML data integration for modern urban challenges. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* Vol. 24 <http://www.itcon.org/2019/17>.
- Zhang, S., Hou, D., Wang, C., Pan, F. & Yan, L. 2020. Integrating and managing BIM in 3D web-based GIS for hydraulic and hydropower engineering projects. *Automation in Construction* 112
- Zhao, L., Liu, Z. & Mbachu, J. 2019a. An Integrated BIM–GIS Method for Planning of Water Distribution System. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(8): 331.
- Zhao, L., Liu, Z. & Mbachu, J. 2019b. Highway alignment optimization: An integrated BIM and GIS approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 8(4)
- Zhao, L., Mbachu, J. & Liu, Z. 2022. Developing an Integrated BIM+GIS Web-Based Platform for a Mega Construction Project. *KSCE Journal of Civil Engineering* 26(4): 1505–1521.
- Zhi, G., Liao, Z., Tian, W., Wang, X. & Chen, J. 2019. A 3D dynamic visualization method coupled with an urban drainage model. *Journal of Hydrology* 577
- Zhu, J., Wang, X., Wang, P., Wu, Z. & Kim, M.J. 2019. Integration of BIM and GIS: Geometry from IFC to shapefile using open-source technology. *Automation in Construction* 102: 105–119.
- Zhu, J. & Wu, P. 2021a. A common approach to georeferencing building models in industry foundation classes for bim/gis integration. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(6)
- Zhu, J. & Wu, P. 2021b. Towards effective bim/gis data integration for smart city by integrating computer graphics technique. *Remote Sensing* 13(10)
- Zhu, J., Wu, P. & Anumba, C. 2021. A semantics-based approach for simplifying IFC building models to facilitate the use of bim models in GIS. *Remote Sensing* 13(22)
- Zhu, J., Wu, P., Chen, M., Kim, M.J., Wang, X. & Fang, T. 2020. Automatically processing IFC clipping representation for BIM and GIS integration at the process level. *Applied Sciences (Switzerland)* 10(6)