

Integrasi Model 3D Dengan Pemodelan Maklumat Bangunan (BIM) Menggunakan Teknologi GeoSLAM

The Integration of 3D Models with Building Information Modeling (BIM) Using GeoSLAM Technology

Nur Fatin Amirah Mohd Ali Hanafiah
¹Khairul Nizam Abdul Maulud

Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600
UKM Bangi, Selangor, Malaysia.

Pusat Pencerapan Bumi, Institut Perubahan Iklim, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,
Selangor, Malaysia.

Pengarang koresponden: ¹knam@ukm.edu.my

ABSTRAK

Kecanggihan teknologi dalam pemodelan maklumat bangunan (BIM) merupakan suatu peluang yang menjanjikan kemajuan dalam sektor seni bina, kejuruteraan dan pembinaan. BIM merupakan suatu proses kolaboratif yang dapat membantu dalam mencipta model digital bangunan yang terperinci. Untuk mendapat maklumat sebuah bangunan sedia ada, teknik ukuran konvensional boleh digunakan namun ianya tidak dapat disepadukan sepenuhnya dengan kemajuan rangka kerja masa kini. Justeru, terdapat banyak bangunan di seluruh dunia yang kesannya tidak mempunyai maklumat lengkap dalam bentuk lukisan bangunan, dimensi susun atur dan maklumat berguna lain. Kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti teknik penghasilan pelan struktur sedia ada dalam bangunan, mengaplikasikan data titik berkepadatan tinggi untuk aplikasi BIM dan mengenal pasti keberkesanan teknologi GeoSLAM untuk mengumpulkan data dalam waktu yang singkat. Tumpuan utama dalam kajian ini adalah melakukan pengesanan dalam bangunan yang mempunyai struktur sedia ada dengan menggunakan alatan GeoSLAM ZEB Horizon yang telah disepadukan bersama teknologi pengimbasan laser kesetempatan serentak dan pemetaan (SLAM). Algoritma dalam aplikasi SLAM melaksanakan penjejakan geo pengimbas dalam persekitaran yang tidak diketahui dan penjanaan data mentah titik berkepadatan tinggi tiga dimensi (3D) menggunakan kedua-dua data Inertial Measurement Unit dan algoritma ciri pengesanan tersendiri. Data yang diperoleh adalah dalam bentuk titik berkepadatan tinggi dengan sistem koordinat 3D yang mempunyai paksi x, y dan z yang mewakili permukaan luaran objek ataupun persekitaran dalaman bangunan. Perisian yang digunakan dalam kajian ini adalah seperti Geo Connect, CloudCompare dan Revit Autodesk yang terlibat dalam penterjemahan, pemprosesan data titik berkepadatan tinggi dan penghasilan hasil akhir kajian. Faktor yang dapat mempengaruhi hasil akhir data kajian adalah keberkesanan ciri khusus perisian yang digunakan untuk pelaksanaan proses pembersihan bunyi terhadap data yang berjaya dikumpul. Perbandingan hasil akhir kajian dapat dilihat melalui analisis penapisan data yang tidak diperlukan dengan data asal yang terkumpul. Hasil kajian mendapati bahawa ZEB Horizon ini mampu mengumpul sehingga 300,000 data titik pengesanan setiap saat dengan jarak maksimum 100 meter dan dengan jumlah tersebut, penghasilan peta dan pelan struktur sedia ada dalam bangunan dapat diwujudkan dengan tempoh masa yang pantas dan memerlukan tenaga kerja yang minimum. Pengelasan objek BIM berasaskan Industry Foundation Classes (IFC) perlu dilakukan dengan berpandukan maklumat geometri objek supaya dapat mengelakkan kemungkinan kesan negatif akibat daripada penyalahgunaan entiti IFC dan menyokong kebolehoperasian BIM yang lancar.

Kata kunci: *Pemodelan maklumat bangunan (BIM), titik berkepadatan tinggi, pengimbasan laser kesetempatan serentak dan pemetaan (SLAM), pembersihan bunyi, pelan struktur sedia ada*

ABSTRACT

One of the most promising advancements in the architecture, engineering, and construction sectors is building information modeling (BIM). Building information modelling also known as BIM, is a highly collaborative process that aids in creating a precise digital model of a building. Information about existing buildings can be obtained using conventional measurement techniques, but the use of technology is not fully integrated with the current design framework. There are many existing buildings all over the world that are consequently incomplete in forms of drawings, dimensions and usability information. This study was conducted to identify the production technique of as-built plans in buildings, the implementation of point clouds for BIM applications and the effectiveness of GeoSLAM technology to collect point cloud data in a short time. The main focus of this study is to perform laser scanning in buildings that have existing structures by using GeoSLAM ZEB Horizon tools that have been integrated with simultaneous localization and mapping (SLAM) technology. Algorithms in the SLAM application perform geo-tracking in an unknown environment and generate three-dimensional (3D) raw point cloud data using both Inertial Measurement Unit (IMU) data and its own tracking feature algorithm. The data obtained is in the form of a point cloud with a 3D coordinate system having x, y and z axes that represent the external surface of the object or the internal environment of the building. The software used in this study is Geo Connect, CloudCompare and Revit Autodesk which involved in point cloud translation, processing and the production of the final results of the study. Factors that can affect the results of the study data are the effectiveness of the specific features of the software used for the implementation of the noise cleaning process on the successfully collected data. A comparison of the final results of the study can be seen through the filtering analysis of unnecessary data with the original data collected. The results of the study found that ZEB Horizon can collect up to 300,000 detection point cloud data points per second with a range of 100 meters and with that amount, the production of maps and plans of the existing structure in the building can be created within a minimum period of time and requires minimal manpower. At the end of this study, the researcher suggested that the classification of BIM objects based on Industry Foundation Classes (IFC) should be done based on the geometric information of the object to avoid possible negative effects due to the misuse of IFC entities and to support the smooth interoperability of BIM.

Keywords: *Building Information Modeling (BIM), point cloud, simultaneous localization and mapping (SLAM), noise filtering, as-built plans*

1. Pengenalan

Dengan mengikuti peredaran zaman yang serba moden, aktiviti pemetaan juga tidak jauh ketinggalan dengan kemunculan teknologi baharu yang jauh lebih canggih khususnya untuk membolehkan aktiviti-aktiviti pemetaan dalam bangunan dilakukan dengan cepat dan pantas tanpa mengurangkan kualiti produk akhir yang dihasilkan. Pelaksanaan pemetaan 3D dalam bangunan dapat memberi banyak kelebihan khususnya seperti pendokumentasian pembinaan atau bangunan bersejarah, diagnostik bangunan, kitaran hayat bangunan dan pemodelan maklumat bangunan (BIM). Sistem BIM yang boleh menguruskan maklumat luar tapak pembinaan dengan cekap meliputi tiga aspek pelaksanaan BIM iaitu perisian sedia ada, ketersediaan data dan keboleherasian piawaian (Abanda et al., 2017).

Terdapat beberapa kaedah yang tersedia untuk mengumpulkan data dalam bangunan seperti pengimbasan laser darat (TLS), fotogrametri dan sebagainya tetapi kajian ini menggunakan kaedah yang pengimbasan laser kesetempatan serentak dan pemetaan (SLAM). Kaedah ini memperkenalkan sistem mudah alih apabila ianya boleh digunakan sambil melakukan

pergerakan dan berlebihan dengan dapat mengumpulkan data dengan pantas. Proses pemetaan boleh dilakukan sambil pengguna melalui kawasan yang diingini dalam untuk menepati hasil akhir kajian. Dengan kehebatan teknologi SLAM, peranti yang digunakan boleh menghasilkan peta persekitaran yang tidak diketahui (Chen et al., 2022) dan pada masa yang sama dapat mengenal pasti lokasinya sendiri dalam persekitaran tersebut menggunakan algoritma SLAM sendiri.

Dalam beberapa dekad kebelakangan ini, permodelan maklumat bangunan (BIM) merupakan suatu teknologi yang terkenal khususnya dalam bidang kejuruteraan awam dan industri pengurusan aset. BIM merupakan satu teknologi permodelan yang boleh divisualkan dalam bentuk tiga dimesi (3D) dan mengandungi pelbagai maklumat yang dihasilkan dengan bantuan perisian lain. BIM melibatkan satu set proses berkait untuk menghasilkan komunikasi, analisis dan penggunaan maklumat daripada model digital sepanjang kitar hidup projek suatu pembinaan.

Data pengimbasan laser kebiasaannya dikumpul dalam bentuk titik berkepadatan tinggi yang merupakan suatu set data titik dalam sistem koordinat tiga dimensi mempunyai paksi x, y dan z yang mewakili permukaan luaran objek ataupun persekitaran dalaman bangunan. Teknologi pengimbasan laser yang terkenal seperti pengimbasan laser kesetempatan serentak dan pemetaan (SLAM) berupaya mengesan dan mengumpulkan berjuta-juta data ukuran dan maklumat dalam suatu persekitaran. Semua data ini kemudiannya diproses dan disatukan menjadi perwakilan maya iaitu dalam bentuk titik berkepadatan tinggi. Ianya merupakan elemen yang penting sebagai kepelbagaian data untuk mengaplikasikan penyusunan semula model 3D.

Aplikasi pengimbasan laser merupakan kemajuan dalam teknologi pemetaan digital seperti teknologi pengimbas laser tiga dimensi dapat meningkatkan keberkesanan dan kecekapan dalam perancangan, konsultasi dan komunikasi pengguna semasa proses pembinaan berjalan dan secara keseluruhan proses kitaran hayat persekitaran pembinaan. Pengesanan gambar, pancaran laser, elektronik penerima, kemajuan dalam pengesanan lanjutan, Unit Pengukuran Inersia (IMU), dan Sistem Penentuan kedudukan Global (GPS) adalah merupakan komponen pengimbas laser yang membenarkan teknologi canggih ini untuk mengira ketepatan koordinat bagi suatu struktur dan permukaannya (Kadhim et al., 2021) . Dengan mengaplikasikan teknologi ini, kita dapat memproses data yang telah dikumpulkan dan dapat dimodelkan ke dalam sistem BIM. Permintaan dan keperluan permodelan 3D ini dilihat mendapat sambutan yang tinggi pada masa kini kerana berperanan dalam aktiviti pemuliharaan, penstoran semula data, pengubahsuaian mahupun pembinaan semula suatu projek bangunan.

Dengan menggunakan teknik secara tradisional, pengumpulan data untuk mengemaskini dan memastikan struktur suatu model bangunan merupakan proses yang mencabar kerana ianya melibatkan pelbagai skop kerja seperti melawat lokasi projek secara fizikal untuk mendapatkan ukuran dan gambar yang berkaitan. Jelaslah bahawa produk data yang terhasil adalah bersifat menyeluruh di mana semua keperluan maklumat produk merupakan sejumlah data yang besar dan sukar dikendalikan secara manual sekaligus meningkatkan keperluan untuk mewakili data produk dalam cara yang boleh diproses oleh mesin untuk memudahkan pencarian, mengenal pasti dan mentafsir data secara automatik (Wagner et al., 2022). Hal ini akan melibatkan tempoh masa yang panjang, penglibatan lebih banyak tenaga kerja dan perbelanjaan yang tinggi. Justeru dengan mengaplikasikan teknologi pengimbasan laser 3D di

lokasi tertentu dapat menjana suatu set data titik berkepadatan tinggi dan melaksanakan pemodelan dalam aplikasi BIM sebagai hasil kajian dengan jangka masa yang lebih singkat.

Matlamat kajian ini adalah untuk mengenal pasti teknik penghasilan pelan struktur sedia ada dalam bangunan, mengaplikasikan data titik berkepadatan tinggi untuk aplikasi BIM dan mengenal pasti keberkesanan teknologi GeoSLAM ZEB Horizon untuk mengumpulkan data dalam waktu singkat.

2. Tinjauan Literatur

2.1 Pemodelan Maklumat Bangunan (BIM)

Pelaksanaan automatik dan pendigitalan telah berkembang dalam pelbagai bidang kajian seiring dengan perkembangan zaman teknologi hari ini. BIM adalah satu komponen utama pendigitalan dalam industri pembinaan. Kesepaduan gabungan teknologi BIM menunjukkan kelebihan dan peningkatan dalam fasa perancangan dan pembinaan untuk tempoh beberapa tahun kebelakangan ini (Becker et al., 2019).

Penggunaan istilah “Tahap Perincian” ataupun juga dikenali sebagai “Tahap Pembangunan” (LoD) sering digunakan untuk menggambarkan maklumat objek BIM yang pelbagai dan terperinci. LoD dapat memberi takrifan kepada komponen model yang tersedia sama dalam bentuk data atribut geometri dan bukan geometri (Volk et al., 2014) . Model BIM dihubungkan kepada fungsi khusus melalui rangka kerja *Model View Definitions (MVD)* dan *Information Delivery Manual (IDM)* supaya dapat menghasilkan maklumat penting, memudahkan petukaran data serta menghapuskan kekaburan maklumat (Venugopal et al., 2012).

Selain itu, MVD juga membolehkan data dan maklumat model disesuaikan khas untuk pemprosesan dan semasa fasa penggunaan terutamanya untuk antara muka khusus bagi suatu maklumat. Konfigurasi ini seterusnya membolehkan penggunaan tatacara berfokus dan percubaan untuk meminimumkan sebarang peluang persepsi yang muncul. Sokongan MVD yang tersedia dapat diakses dengan mudah oleh pengguna sebagai pilihan utama dalam fungsi IFC untuk perisian BIM.

Industry Foundation Classes (IFC) merupakan satu-satunya jenis data BIM yang mematuhi dan bersesuaian dengan kitaran hayat yang juga boleh diakses sepenuhnya dan merupakan standard yang diiktiraf di peringkat antarabangsa, DIN EN ISO 16739 telah dicipta oleh organisasi buildingSMART sejak 1995(ISO 16739-1:2018). IFC adalah format yang sangat sesuai boleh diakses untuk penukaran maklumat antara aplikasi perisian berbeza sepanjang keseluruhan jangka hayat bangunan kerana sifatnya yang neutral dan boleh disambungkan (Giannakis et al., n.d.).

Dalam penyediaan sistem *Computer Aided Facility Management (CAFM)*, BIM berkebolehan untuk menyediakan pangkalan data kerana model maklumat bangunan adalah berada dalam pangkalan kesepaduan informasi yang khusus dan model aset bangunan mempunyai kesedaran lokasi yang dilampirkan dengan maklumat tertentu (Teicholz; 2013). Kumpulan data pemodelan BIM boleh dipindahkan kepada aplikasi CAFM dimana ianya dapat memintas usaha yang memakan masa lama dan kebarangkalian untuk berlakunya ralat pada

data input secara manual sehingga akhirnya dapat meningkatkan kualitas akhir data kajian (Kelly; 2013).

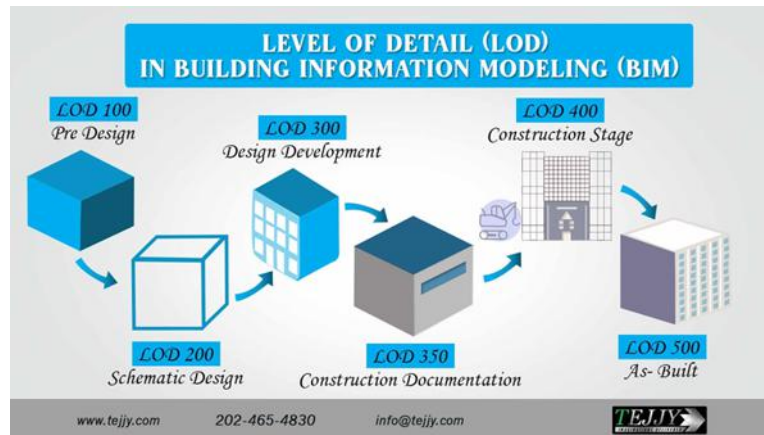
Strategi kerja yang bersifat komprehensif dan kolaboratif mewujudkan peluang sudut pandangan yang pelbagai dari pihak berkepentingan dalam perancangan, analisis, pembinaan, pengoperasian, dan kecekapan data serta maklumat untuk penukaran secara berkala sepanjang keseluruhan kitaran hayat suatu projek (Theißen et al., 2020).

2.2 Model 3D Dalam BIM

Institut Arkitek Amerika (AIA) telah menubuhkan suatu tahap pembangunan (LoD) untuk menerangkan tahap kesempurnaan sesuatu elemen dalam model yang dibangunkan pada pameran protokol pemodelan maklumat bangunan pada tahun 2008. Manual berkaitan LoD yang diperkenalkan berfungsi sebagai kaedah komunikasi untuk keseragaman definisi kandungan yang diperlukan dalam fasa reka bentuk supaya ianya boleh diakses oleh semua pihak yang terlibat dalam suatu projek dengan standard tatacara kerja yang bersesuaian (Becker et al., 2019). Pada tahun 2008, AIA pertama kali memperkenalkan LoD dengan mentakrifkan lima tahap pembangunan yang berbeza. Walau bagaimanapun, sehingga kini terdapat penambahan LoD 350 menjadikan jumlah keseluruhan tahap pembangunan sehingga enam tahap.

Penerangan ciri untuk setiap LoD adalah seperti berikut iaitu LoD 100 yang merupakan fasa pra-reka bentuk konseptual dimana model menggunakan simbol 2 dimensi (2D) dan mengandungi keseluruhan jisim bangunan untuk menunjukkan kewujudan suatu elemen. Model ini dapat diaplikasikan untuk melakukan pengelasan kategori jenis bangunan serta analisa bangunan. Seterusnya, LoD 200 menggariskan anggaran geometri elemen untuk kuantiti, saiz, bentuk dan lokasi yang menyumbang kepada definisi mereka dan boleh digunakan untuk pelaksanaan analisis sistem tertentu. Takrifan LoD 300 memberikan perwakilan ketepatan geometri pada sesuatu dimensi dan kedudukan relatif elemen untuk menyokong ketepatan. Kesesuaian model ini boleh memenuhi keperluan perancangan dokumentasi dimana ianya dapat menjalankan simulasi dan analisis untuk elemen dan sistem yang lengkap. Diikuti dengan LoD 350 yang baru diperkenalkan dengan menggariskan dengan tepat maklumat geometri suatu elemen dan hubungan serta perkaitan antara elemen lain BIM seperti Autodesk Revit.

Selain itu, LoD 400 menyediakan pengeluaran geometri siap sedia yang memberikan penjelasan umum tentang bagaimana komponen yang berbeza dibina. Tahap pembangunan model yang terakhir yang mempunyai tahap perincian yang sangat tinggi iaitu LoD 500 mewakili model operasi ataupun model terbina yang menunjukkan permulaan model dengan mensimulasikan penggunaan sebenar pelbagai jenis komponen di dalam bangunan sebenar. Ilustrasi perbezaan LoD dapat dilihat seperti dalam Rajah 1.



RAJAH 1. Perbezaan LoD
Sumber : Website Tejjy Inc.

2.3 Teknologi GeoSLAM

Proses kerja untuk membina semula persekitaran dalam bentuk geometri apabila navigasi kawasan persekitaran yang tidak dikenali merupakan satu proses yang mencabar disebabkan oleh isu berkaitan modaliti alat pengesan, perwakilan peta yang tidak sejajar ataupun kewujudan halangan bunyi semasa pemerhatian. Namun begitu, dengan teknologi *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) ianya dapat menyelesaikan isu dimana melibatkan penggunaan robot mudah alih yang sebelum ini perlu berulang kali menjalani proses pengimbasan untuk memperbaiki peta yang telah dibina dan lokasi semasa yang telah dihasilkan dengan melakukan lebih pemerhatian pada kawasan persekitaran yang belum dipetakan menggunakan pelbagai penderia (Chong et al., 2015).

Algoritma yang dibina dalam SLAM dapat mengira pergerakan sensor dan membina semula struktur geometri kawasan pengesanan secara serentak (Lai, 2022). Aplikasi pengesanan ke BIM menggunakan GeoSLAM merupakan satu kaedah yang lebih mudah untuk mengumpulkan data penting bagi satu lokasi dengan lebih cepat serta dapat menghasilkan titik berkepadatan tinggi dan seterusnya mengimport masuk maklumat berkaitan ke dalam perisian BIM seperti Autodesk Revit.

Disebabkan oleh keterbatasan sensor robot yang berkaitan, terdapat lima algoritma yang digunakan dalam teknologi ini. Algoritma pertama adalah Cartographer yang dicipta oleh Google dan tersedia secara percuma untuk digunapakai di seluruh dunia sejak Oktober 2016 (Nüchter et al., n.d.). Algoritma ini mempunyai matlamat utama untuk meningkatkan keberkesanan dengan menyeragamkan kaedah pemrosesan maklumat itu daripada penapis zarah yang juga merupakan gabungan dua 2D SLAM yang berasingan, dimana masing-masing menggunakan penderia LiDAR dan dioptimumkan secara berasingan dan salah satu daripadanya beroperasi secara tempatan manakala lagi satu beroperasi secara global (Trejos et al., 2022). Seterusnya adalah algoritma Gmapping yang menggunakan pendekatan penapis zarah Rao-Blackwellized untuk menyelesaikan algoritma SLAM dengan lebih cepat dan lebih efektif sementara memerlukan lebih sedikit zarah untuk anggaran (Grisetti et al., 2007).

Selain itu, sensor LiDAR yang dipasang bersama Inertial Measurement Unit (IMU) digunakan untuk mencipta algoritma HECTOR-SLAM yang dibangunkan daripada 2D SLAM. Sensor ini dapat mentafsir dimensi untuk pengelasan navigasi begitu juga dengan keupayaan untuk melaksanakan pemetaan 3D (IEEE Staff & IEEE Staff, n.d.). Algoritma lain

adalah KARTO-SLAM yang mencipta peta menggunakan nod untuk titik lokasi trajektori robot dan bacaan data sensor (Le et al., 2018). Akhir sekali, pemetaan berasaskan penampilan masa nyata atau RTAB-Map ialah algoritma SLAM berasaskan graf yang dicipta daripada perpustakaan C++ dan pakej ROS (Labbe & Michaud, 2019) dan pelaksanaannya adalah berdasarkan pemprosesan serentak serta mewujudkan masa tindak balas maksimum pada keluaran SLAM.

3. Metodologi dan Kawasan Kajian

3.1 Tata Cara Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam kajian ini diperoleh menggunakan peralatan GeoSLAM ZEB Horizon untuk mendapatkan data titik berkepadatan tinggi dan kemudiannya diproses dan diekstrak ke dalam format yang bersesuaian dengan aplikasi BIM yang akan digunakan iaitu Revit Autodesk. Sebelum pengumpulan data dilakukan, pengkaji telah melakukan peninjauan lokasi kajian yang terlibat sekitar Universiti Kebangsaan Malaysia iaitu bangunan Pusat Pencerapan Bumi dan dewan kuliah di Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina. Dalam aplikasi teknologi SLAM, proses pendaftaran dan penyimpanan data titik berkepadatan tinggi dilakukan secara automatik dengan algoritmanya tersendiri di dalam komponen pencatat data yang telah tersedia bersama peralatan pengesanan yang digunakan.

Data titik berkepadatan tinggi yang diperoleh adalah dalam bentuk format LAZ yang merupakan format lazim digunakan. Format LAZ digunakan untuk tujuan pertukaran dan pengarkiban data titik berkepadatan tinggi LiDAR. Sifat data binari yang terbuka ini ditentukan oleh American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS). Fail LAZ boleh dibaca, divisualisasikan dan diproses dengan program perisian umum untuk pemprosesan titik berkepadatan tinggi. Proses kajian yang dijalankan bagi menyempurnakan kajian ini ditunjukkan di Rajah 2.

Seterusnya, penghasilan model 3D diteruskan dengan pemprosesan data titik berkepadatan tinggi untuk penapisan bunyi menggunakan perisian CloudCompare. Algoritma ini disesuaikan secara setempat dengan satah (sekitar setiap titik berkepadatan tinggi) kemudian mengalih keluar titik tersebut jika ia terlalu jauh dari satah yang ditetapkan. Elemen geometri 3D diterjemahkan ke dalam format obj dimana ianya merupakan format data ringkas yang terbuka dan digunakan oleh banyak aplikasi grafik 3D. Seterusnya, menterjemahkan elemen geometri 3D ke dalam fail IFC untuk mendapatkan hasil pendekatan yang dibangunkan dalam perisian BIM. Fail IFC dibuka dalam Revit (Autodesk) merupakan perisian BIM terkemuka di pasaran.



RAJAH 2. Carta aliran proses kajian

3.2 Analisis Data

Bahagian ini akan menerangkan mengenai konsep persampelan dan langkah-langkah yang diambil ketika kajian ini dijalankan. Setiap titik berkepadatan tinggi berdaftar akan ditetapkan dalam sistem koordinat tempatan dan kedudukan asal pengguna di titik awal dan akhir

penggunaan ZEB Horizon. Kejituan data yang diperoleh dikenalpasti dengan menggunakan teknik pengiraan sisihan piawai dan ralat punca min kuasa dua.

Seterusnya, penghasilan model 3D diteruskan dengan pemprosesan data titik berkepadatan tinggi untuk penapisan bunyi menggunakan perisian CloudCompare. Algoritma ini disesuaikan secara setempat dengan satah (sekitar setiap titik berkepadatan tinggi) kemudian mengalih keluar titik itu jika ia terlalu jauh dari satah yang ditetapkan. Seterusnya, menterjemahkan elemen geometri 3D ke dalam fail IFC untuk mendapatkan hasil pendekatan yang dibangunkan dalam perisian BIM. Fail IFC dibuka dalam Revit (Autodesk) merupakan perisian BIM terkemuka di pasaran.

Kaedah pengestrakan satah boleh dilakukan dengan *Maximum Likelihood Estimation Sample Consensus* (MLE-SAC). Kaedah ini menggunakan strategi pensampelan yang sama seperti RANdom SAMple Consensus (RANSAC) digunakan untuk mengesan titik pada satah yang sama, kemudian nombor arah pada satah dianggarkan dengan pendekatan kuasa dua terkecil (Leoni et al., 2019). RANSAC digunakan secara meluas untuk mengesan dan mengekstrak satah dalam data pengimbasan laser oleh kerana kesederhanaan dan keteguhan algoritmanya (Previtali et al., 2018).

3.3 Kawasan Kajian

Skop kajian ini tertumpu kepada peralatan yang digunakan untuk pengimbasan laser iaitu GeoSLAM ZEB Horizon yang merupakan alatan pengimbas LiDAR dengan mempunyai ciri pemegang tangan ataupun bersifat mudah alih dimana bersesuaian untuk aplikasi pemetaan dalam penggunaan dalaman bangunan.

Dalam memproses data titik berkepadatan tinggi, terdapat beberapa perisian yang digunapakai dalam proses penterjemahan data sehingga penghasilan akhir hasil kajian iaitu GeoSLAM Connect, CloudCompare dan Revit Autodesk. Lokasi kajian dijalankan di bangunan Pusat Pencerapan Bumi (EOC) dan dewan kuliah yang terdapat di Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.

4. Dapatan dan Perbincangan

4.1 Pengumpulan data titik berkepadatan tinggi

4.1.1 Penggunaan GeoSLAM ZEB Horizon di lokasi kajian.

Melalui pengesanan dalam bangunan yang dilakukan di bangunan Pusat Pencerapan Bumi (EOC), sebanyak 60,139,983 titik berkepadatan tinggi telah berjaya direkod dalam masa 10 minit dan didaftarkan ke dalam aplikasi CloudCompare. Pengesanan dimulakan di kawasan pintu masuk bangunan dan hendaklah diakhiri di titik permulaan yang sama. Setiap data yang dikumpul disimpan di dalam 'data logger' yang tersedia bersama alatan GeoSLAM ZEB Horizon seperti dalam rajah 3. Antara kelengkapan lain alatan ini adalah seperti berikut Rajah 4 yang mampu mengumpul data titik berkepadatan tinggi sehingga 100 meter.



RAJAH 3. "Data logger"

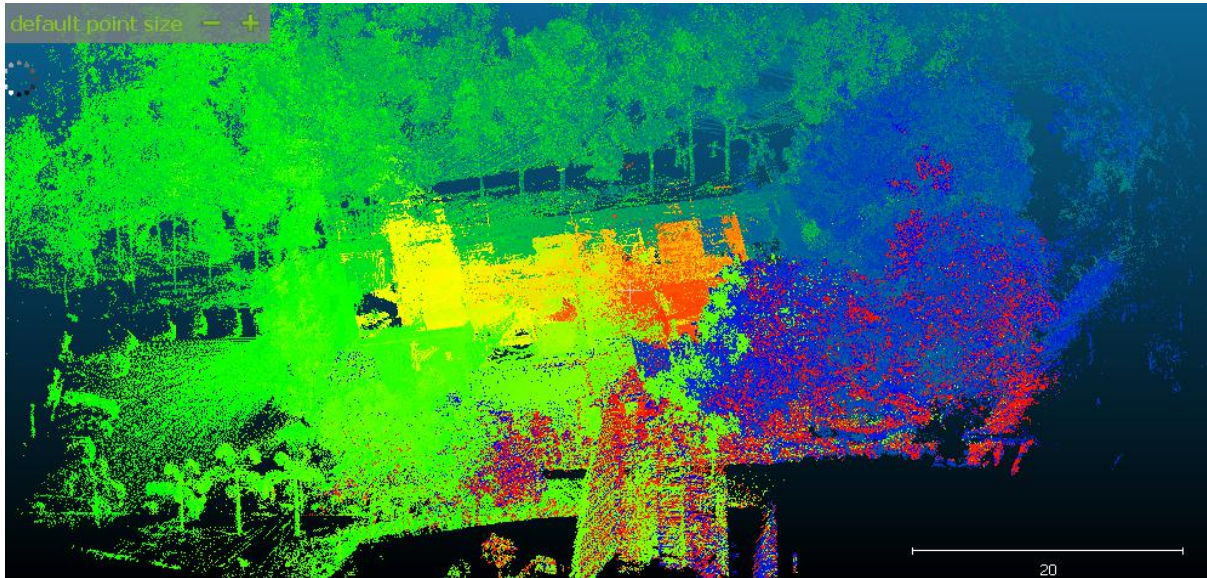


RAJAH 4. Alatan GeoSLAM ZEB Horizon

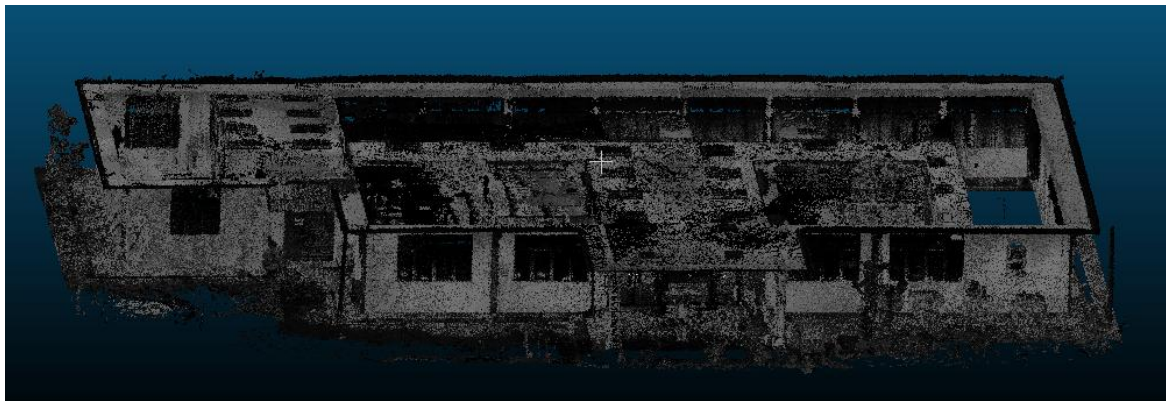
Proses pengesanan ini dilakukan dengan tenaga kerja yang sangat minimum dan tempoh masa yang singkat. Hal ini adalah kerana kelebihan alatan ini yang bersifat mudah alih dan kompak yang memudahkan kerja pengesanan dilakukan jika dibandingkan dengan cara konvensional yang memerlukan tenaga kerja yang lebih banyak dan tempoh masa kerja yang lebih panjang.

4.1.2 Pemprosesan data titik berkepadatan tinggi

Data titik berkepadatan tinggi yang direkod semasa pengesanan di kawasan kajian akan terus didaftarkan dalam bentuk format .laz dan disimpan dalam "data logger" yang tersedia. Oleh itu, data tersebut boleh terus divisualisasikan dalam aplikasi CloudCompare yang berkeupayaan membaca data dalam format .laz seperti dalam Rajah 5. Seluruh kawasan kajian termasuk persekitaran sekelilingnya seperti pokok-pokok juga dapat direkod dengan menggunakan alatan ini. Disebabkan data titik berkepadatan tinggi yang dikumpulkan melebihi keperluan kajian ini, maka analisis pembersihan bunyi dilaksanakan melalui aplikasi CloudCompare untuk membuang data yang tidak diperlukan. Selepas analisis pembersihan bunyi dilaksanakan, bilangan titik berkepadatan tinggi berkurangan kepada 38,399,068 dan analisis seterusnya diteruskan untuk proses segmentasi dimana sebahagian kawasan pengesanan dapat dibuang seperti Rajah 6. Dengan ciri analisis yang terdapat dalam CloudCompare ini hasil akhir kajian dapat dikhususkan hanya pada bangunan yang berkaitan kawasan pemetaan kajian sahaja.



RAJAH 5. Visual data titik berkepadatan tinggi di dalam CloudCompare

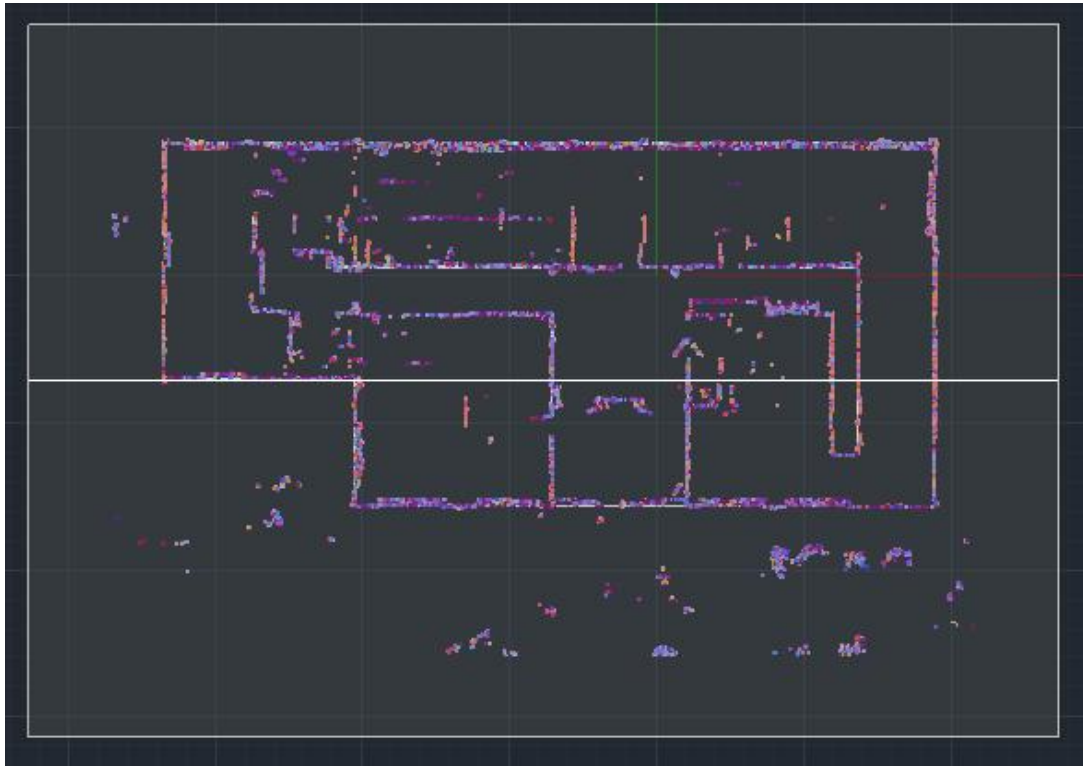


RAJAH 6. Hasil akhir data titik berkepadatan tinggi selepas beberapa analisis.

4.2 *Pelan sedia ada bangunan*

4.2.1 *Maklumat bangunan dalam Autocad*

Seterusnya data yang telah dibersihkan dan melalui proses segmentasi hendaklah ditukarkan kedalam format .rcp menggunakan aplikasi Autodesk Recap. Dengan penggunaan format yang bersesuaian, data titik berkepadatan tinggi dapat diterjemahkan dalam Autodesk Autocad seperti dalam Rajah 7. Keseluruhan titik berkepadatan tinggi dapat diterjemahkan ke dalam Autocad namun untuk melaksanakan peta dalam bangunan, satu lapisan titik berkepadatan tinggi sahaja diperlukan iaitu lapisan paling bawah yang dapat menterjemah dinding, pintu dan tingkap suatu bangunan. Seterusnya dalam Rajah 8, pelan sedia ada bangunan dapat dihasilkan dengan melukiskan semula mengikut titik berkepadatan tinggi dimana elemen warna putih mewakili dinding, warna biru mewakili pintu dan warna hijau mewakili tingkap.



RAJAH 7. Titik berkepadatan tinggi diterjemah kedalam Autocad.



RAJAH 8. Hasil akhir pemetaan dalam bangunan.

4.3 Perbincangan

Dengan kewujudan teknik pengimbasan laser 3D, pengguna dapat menjalankan aktiviti pemetaan bangunan dengan cepat dan seterusnya memperoleh data ukuran dan informasi berkaitan sesebuah objek dalam kawasan kajian dengan kadar waktu singkat. Seterusnya, penghasilan data tersebut dapat dimodelkan dalam format BIM dan memberi maklumat secara visual kepada pengguna untuk penghasilan pelan sedia ada bangunan. Mengambil kira ketersediaan sumber data tambahan seperti saluran warna, lebih banyak maklumat boleh disepadukan dalam proses segmentasi data dan penggunaan format yang bersesuaian antara satu sama lain untuk memproses data dengan jayanya sehingga menjana hasil akhir kajian iaitu satu peta sedia ada dalam bangunan. Dengan jumlah 300,000 pengesanan titik per saat (GeoSLAM 2023., n.d.), GeoSLAM ZEB Horizon dapat melakukan aktiviti pengesanan dengan pantas walaupun digunakan dalam persekitaran yang kompleks. Hasilnya, pengesanan berkualiti tinggi dapat dilaksanakan dalam tempoh masa yang singkat. Dalam lingkungan jarak 100 meter dan fleksibiliti yang ada pada alat ini, penghasilan imbasan 3D dengan kadar ketepatan 6mm berdasarkan kepada persekitaran kajian dapat terhasil.

5. Rumusan dan Cadangan

Pengurusan fail data yang terlibat dalam kajian ini hendaklah mempunyai format data yang sepadan antara perisian lain yang digunakan sepanjang kajian. Penukaran format data perlu dilakukan bagi sesetengah data yang tidak sepadan antara satu sama lain bagi meneruskan kajian memperoleh hasil akhir yang diinginkan. Perkembangan masa depan sistem ini boleh dikaji dengan berterusan untuk mereka bentuk sistem pengimbasan laser pelbagai guna yang kompak dan ringan yang menepati ciri pantas dan mudah digunakan di samping keperluan jumlah peralatan sedia ada yang minimum untuk sokongan operasi.

Penghargaan

Penulis mengucapkan ribuan terima kasih kepada Prof Madya Sr Dr Khairul Nizam Abdul Maulud sebagai penyelia atas bimbingan sepanjang menyiapkan kertas kerja ini. Kajian ini juga disokong dengan projek penyelidikan Dana Impak Perdana (DIP-2021-006).

Rujukan

- Abanda, F. H., Tah, J. H. M., & Cheung, F. K. T. (2017). BIM in off-site manufacturing for buildings. *Journal of Building Engineering*, *14*, 89–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.002>
- Becker, R., Lublasser, E., Martens, J., Wollenberg, R., Zhang, H., Brell-Cokcan, S., & Blankenbach, J. (2019). Enabling BIM for property management of existing buildings based on automated As-IS capturing. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2019*, 201–208. <https://doi.org/10.22260/isarc2019/0028>
- Chen, W., Shang, G., Ji, A., Zhou, C., Wang, X., Xu, C., Li, Z., & Hu, K. (2022). An Overview on Visual SLAM: From Tradition to Semantic. *Remote Sensing*, *14*(13). <https://doi.org/10.3390/rs14133010>

- Chong, T. J., Tang, X. J., Leng, C. H., Yogeswaran, M., Ng, O. E., & Chong, Y. Z. (2015). Sensor Technologies and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). *Procedia Computer Science*, 76, 174–179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.336>
- Giannakis, G. I., Lilis, G. N., Garcia, M. A., Kontes, G. D., Valmaseda, C., & Rovas, D. V. (n.d.). *A METHODOLOGY TO AUTOMATICALLY GENERATE GEOMETRY INPUTS FOR ENERGY PERFORMANCE SIMULATION FROM IFC BIM MODELS*.
- Grisetti, G., Stachniss, C., & Burgard, W. (2007). Improved Techniques for Grid Mapping With Rao-Blackwellized Particle Filters. *IEEE Transactions on Robotics*, 23(1), 34–46. <https://doi.org/10.1109/TRO.2006.889486>
- IEEE Staff, & IEEE Staff. (n.d.). *2011 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics*.
- Kadhim, N., Mhmood, A. D., & Abd-Ulabbas, A. H. (2021). The creation of 3D building models using laser-scanning data for BIM modelling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1105(1), 12101. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1105/1/012101>
- Labbé, M., & Michaud, F. (2019). RTAB-Map as an open-source lidar and visual simultaneous localization and mapping library for large-scale and long-term online operation. *Journal of Field Robotics*, 36(2), 416–446. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/rob.21831>
- Lai, T. (2022). A Review on Visual-SLAM: Advancements from Geometric Modelling to Learning-Based Semantic Scene Understanding Using Multi-Modal Sensor Fusion. In *Sensors* (Vol. 22, Issue 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s22197265>
- Le, X., Fabresse, L., Bouraqadi, N., & Lozenguez, G. (2018). *Evaluation of Out-of-the-Box ROS 2D SLAMs for Autonomous Exploration of Unknown Indoor Environments: 11th International Conference, ICIRA 2018, Newcastle, NSW, Australia, August 9–11, 2018, Proceedings, Part II* (pp. 283–296). https://doi.org/10.1007/978-3-319-97589-4_24
- Leoni, C., Ferrarese, S., Wahbeh, W., & Nardinocchi, C. (2019). EXTRACTION OF MAIN LEVELS OF A BUILDING FROM A LARGE POINT CLOUD. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-5/W2*, 41–47. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W2-41-2019>
- Nüchter, A., Bleier, M., Schauer, J., & Janotta, P. (n.d.). *Continuous-Time SLAM-Improving Google's Cartographer 3D Mapping*. <https://opensource.googleblog.com/2016/10/introducing-cartographer.html>
- Previtali, M., Díaz-Vilariño, L., & Scaioni, M. (2018). Indoor Building Reconstruction from Occluded Point Clouds Using Graph-Cut and Ray-Tracing. *Applied Sciences*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/app8091529>
- Theißen, S., Höper, J., Wimmer, R., Zibell, M., Meins-Becker, A., Rössig, S., Goitowski, S., & Lambertz, M. (2020). BIM integrated automation of whole building life cycle assessment using German LCA data base ÖKOBAUDAT and Industry Foundation Classes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032025>
- Trejos, K., Rincón, L., Bolaños, M., Fallas, J., & Marín, L. (2022). 2D SLAM Algorithms Characterization, Calibration, and Comparison Considering Pose Error, Map Accuracy as Well as CPU and Memory Usage †. *Sensors*, 22(18). <https://doi.org/10.3390/s22186903>

- Venugopal, M., Eastman, C. M., Sacks, R., & Teizer, J. (2012). Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 411–428. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.01.005>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs [Autom. Constr. 38 (March 2014) 109–127]. *Automation in Construction*, 38, 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023>
- Wagner, A., Sprenger, W., Maurer, C., Kuhn, T. E., & Rüppel, U. (2022). Building product ontology: Core ontology for Linked Building Product Data. *Automation in Construction*, 133, 103927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103927>