

PEMANFAATAN *DIGITAL TWIN* UNTUK WISATA BUDAYA DI DESA ADAT PENGLIPURAN

(Studi Kasus : Desa Penglipuran, Kecamatan Bangli, Kabupaten Bangli, Provinsi Bali)

Zulhan Abdiwardhana¹, Martinus Edwin Cahjadi², Ketut Tomy Suhari³

Teknik Geodesi,, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Jl. Sigura-gura No.02, Malang, Jawa Timur, 65152

e-mail: julhanwa@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan model 3D dalam *digital twin* untuk Desa Adat Penglipuran melalui pendekatan geospasial, analisis *nearest neighbour* dan *network*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model 3D dalam *digital twin* Desa Adat Penglipuran memberikan representasi digital yang komprehensif dari lingkungan dengan menggabungkan data seperti Model 3D, DTM, *Orthophoto*, Fasilitas Wisata, Zona THK, dan Batas Bidang Adat. Pemanfaatan *digital twin* dalam analisis *network* menggunakan rute optimum pada penentuan akses fasilitas juga dapat dilakukan, dengan akurasi RMSE jarak yang tidak berubah sebesar 1.608 m dan waktu tempuh yang dipengaruhi oleh kecepatan jalan kaki sebesar 34,44 detik sampai 63,85 detik terhadap 10 sampel rute. Diharapkan hasil penelitian ini akan memberikan informasi yang berguna untuk perencanaan pariwisata berbasis Tri Hita Karana di Desa Adat Penglipuran. Hasil analisis *nearest neighbour* menunjukkan bahwa empat wilayah yaitu Area desa, Zona Utama Mandala, Zona Madya Mandala, Zona Nista Mandala, dikelompokkan sesuai pola, yang dimana 3 wilayah (area desa, madya mandala, nista mandala) di anggap sebagai pola mengelompok dan 1 wilayah (utama mandala) dianggap sebagai wilayah acak.

Kata kunci: *Digital Twin*, BIM, analisis Jaringan, Pola Persebaran, Desa Penglipuran

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Smart City dan *Smart Village* merupakan konsep yang semakin populer dalam pengelolaan kota dan desa. Dengan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dan *Internet of Things* (IoT), *Smart City* dan *Smart Village* dapat mengelola aset kota dan desa dengan lebih efisien dan aman. Pemanfaatan teknologi dalam pengelolaan pariwisata adat menjadi salah satu perhatian utama dalam meningkatkan potensi wisata dan kualitas hidup masyarakat (Aziiza 2020).

Desa Adat Penglipuran merupakan salah satu desa yang ditetapkan sebagai desa wisata dan memiliki potensi wisata yang cukup besar (Arida 2017). Namun, pemanfaatan informasi fasilitas wisata di Desa Adat Penglipuran masih belum sepenuhnya optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pendekatan baru yaitu dengan membangun Model Informasi Pariwisata Adat dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis 3D dan Tri Hita Karana untuk mengoptimalkan pemanfaatan informasi fasilitas wisata di Desa Adat Penglipuran.

Pemanfaatan informasi fasilitas wisata di desa tersebut masih belum optimal, sehingga diperlukan pendekatan baru yang lebih lengkap dan mudah diakses bagi wisatawan. Metode *analisis Nearest Neighbor* dan *Network* digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis pola persebaran dan menentukan akses fasilitas wisata. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi dalam pengelolaan adat pariwisata dan memberikan informasi yang lebih lengkap dan mudah diakses bagi wisatawan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masala dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana Pemanfaatan model 3D pada ruang adat di Desa adat Penglipuran dengan pendekatan *Digital Twin* dalam perspektif Geospasial ?
2. Bagaimana analisis pola persebaran dan penentuan akses fasilitas wisata dengan pendekatan analisis *Network* dan *Nearest Neighbor* pada model 3D berbasis Tri Hita Krana?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

a. Tujuan

1. Untuk memanfaatkan model 3D pada ruang adat di Desa adat Penglipuran dengan pendekatan *Digital Twin* dalam perspektif Geospasial.
2. Untuk mengetahui analisis pola persebaran dan penentuan akses fasilitas wisata dengan pendekatan analisis *Network* dan *Nearest Neighbour* pada model 3D berbasis Tri Hita Krana.

b. Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah memberikan informasi kepada wisatawan terkait fasilitas umum, informasi fasilitas adat, dan informasi jarak antara fasilitas wisata serta dapat sebagai pengambilan keputusan dalam penentuan akses terdekat dan terjauh terkait wisata di Desa Adat Penglipuran.

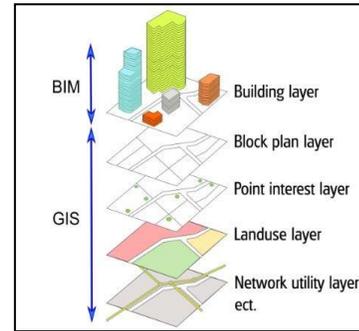
II. Dasar Teori

2.1 Digital Twin

Visualisasi *Digital Twin* dari sebuah bangunan dapat didasarkan pada model CAD 3D yang diambil dari BIM atau model 3D khusus dari bangunan tersebut. Tampilan dinamis ini memungkinkan analisis waktu nyata, pengambilan keputusan yang tepat, efisiensi bangunan, dan peningkatan kenyamanan (Khajavi et al. 2019).

Integrasi GIS dan BIM menciptakan sinergi yang kuat karena komplementaritas satu sama lain. GIS adalah bidang yang luas studi yang mencakup pemodelan geospasial dan pengambilan keputusan berbasis geovisualisasi (Gale et al. 2016).

BIM memiliki keuntungan pada geometri yang kaya dan informasi semantik melalui siklus hidup bangunan. Dalam pembentukan BIM, dilibatkan berbagai macam data, seperti data geometri elemen objek, jumlah masing-masing elemen objek, hubungan spasial antar elemen, serta informasi non-geometris lainnya. Dengan menggabungkan data kuantitatif (geometris) dan kualitatif (*non-geometris*), pemodelan BIM dapat dilakukan untuk melihat perubahan di masa lalu dan proyeksi ke masa depan, serta dapat digunakan untuk pengelolaan bangunan cagar budaya dan lansekap (Liu et al. 2017).



Gambar 2.1 Digital Twin

2.2 Photogrammetry

Photogrammetry atau fotogrametri merupakan seni, ilmu, dan teknologi perolehan informasi tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan penafsiran foto udara (Thomson & Gruner, 1980). Menurut Santoso (2004) fotogrametri merupakan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat di percaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan disekitarnya melalui proses perekaman pengamatan, pengamatan pengukuran dan interpretasi citra fotografisasi rekaman gambar gelombang elektromagnetik. Secara sederhana maka fotogrametri dapat diartikan sebagai pengukuran secara grafis dengan menggunakan sinar. Dari definisi tersebut dapat dimengerti bahwa fotogrametri meliputi (Wolf, 1983):

- Perekaman obyek (Pemotretan)
- Pengukuran gambar obyek pada foto udara
- Hasil Pemotretan dijadikan bentuk yang bermanfaat (Peta).

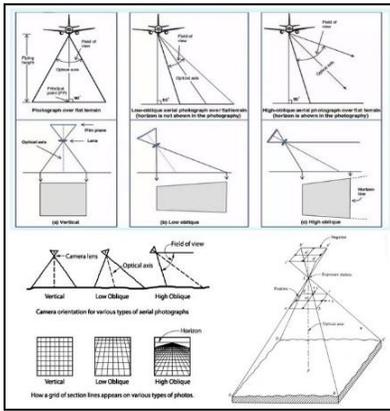
Ditinjau dari data yang dapat diperoleh dari foto udara, maka fotogrametri dapat dibagi menjadi dua yaitu :

a). Fotogrametri Metrik

Fotogrametri Metrik bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif seperti jarak, sudut, luas dan posisi dari suatu objek. Untuk memperoleh data tersebut perlu alat khusus serta pengetahuan dan keterampilan tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan matematis antara sistem foto udara dengan sistem tanah, sehingga ukuran di foto dapat di pindahkan ke sistem tanah atau sebaliknya.

b). Fotogrametri Interpretatif

Fotogrametri Interpretatif bertujuan untuk memperoleh data kualitatif dengan cara pengenalan, identifikasi dan interpretasi foto udara.

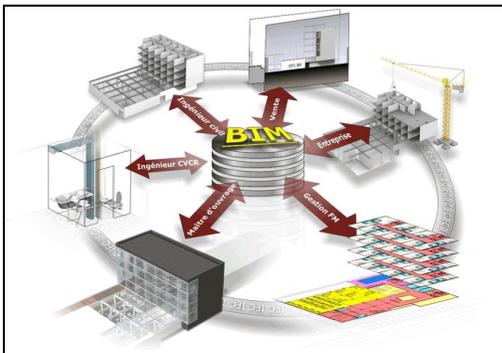


Gambar 2.2 photogrammetry

2.3 BIM (Building Information Modelling)

BIM (*Building Information Modeling*) sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu fasilitas atau bangunan yang digunakan untuk menggambarkan kondisinya dan dapat memberikan informasi tentang pembuatannya (Arayici & Aouad, 2010).

Dalam pembentukan BIM, dilibatkan berbagai macam data, seperti data geometri elemen objek, jumlah masing-masing elemen objek, hubungan spasial antar elemen, serta informasi *non-geometris* lainnya. Dengan menggabungkan data kuantitatif (geometris) dan kualitatif (*non-geometris*), pemodelan BIM dapat dilakukan untuk melihat perubahan di masa lalu dan proyeksi ke masa depan, serta dapat digunakan untuk pengelolaan bangunan cagar budaya (Fai et al., 2011).



Gambar 2.3 BIM

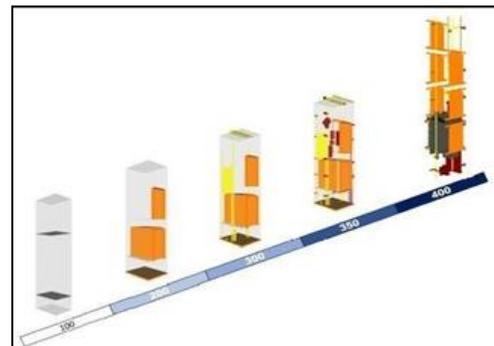
2.4 LOD (Level Of Development)

Konsep LOD diperkenalkan di BIM untuk memungkinkan melakukan konstruksi di industri Arsitektur, Teknik dan Konstruksi (AEC) untuk menentukan dan mengartikulasikan dengan tingkat kejernihan konten yang tinggi serta keandalan model 3D pada berbagai tahap.

LOD (*Level of Development*) adalah konsep dalam BIM (*Building Information Modelling*) untuk menentukan tingkat detail dan kejelasan informasi pada model 3D. LOD mengarahkan tahap-tahap konstruksi dan memastikan bahwa informasi yang digunakan pada model terpercaya dan sesuai dengan tingkat detail yang diperlukan. LOD dikaitkan dengan Tingkat Detail yaitu jumlah detail pada elemen model bangunan, namun LOD mengacu pada tingkat dimana informasi dan geometri elemen dikendalikan dan diperhitungkan saat menggunakan model. LOD merupakan resultan dari hasil kombinasi antara *Level of Detail* dan *Level of Information*. *Level of Detail* merupakan deskripsi grafis dari sebuah model elemen, sedangkan *Level of Information* merupakan deskripsi *non - grafis* dari sebuah model elemen

$$\text{Level Of Development} = \text{Level Of Detail} + \text{Level Of Information}$$

(“Plowman-Craven, 2017.)



Gambar 2.4 LOD

2.5 Pointcloud

Dense pointcloud (pointcloud) merupakan kumpulan titik tinggi hingga jumlah ribuan sampai jutaan yang dihasilkan dari pemrosesan foto udara, *dense pointcloud* ini dapat diolah secara lebih lanjut menghasilkan data 3D *modelling* dan sebagai bahan masukan dalam proses pembuatan orthofoto serta kepentingan survey lainnya. Untuk membuat *dense point cloud* diperlukan *software* pendukung seperti *agisoft photoscan* dan *pix4d mapper* (Aji et al., 2019).

Teknologi untuk membuat model 3D dan mesh pada saat ini semakin berkembang, sehingga tuntutan pembuatan model 3D atau mesh semakin diperhatikan ketelitiannya. Ketelitian model 3D dan *mesh* bergantung pada ketelitian *pointcloud*, semakin teliti *pointcloud*, semakin teliti pula model 3D atau mesh yang dibuat, sehingga perlu adanya penelitian untuk mengetahui ketelitian *pointcloud*.

Akuisisi *pointcloud* dapat dilakukan menggunakan beberapa metode yang memiliki karakteristik berbeda (Ramadhani et al., 2019).



Gambar 2.5 Pointcloud

2.5 RMSE (Root Mean Square Error)

RMSE (*Root Mean Square Error*) merupakan akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber independent yang ketelitiannya lebih (Firdaus, Handayani, and Hidayat 2021).

$$\sigma = \sqrt{((\sum((X(\text{model}, i) - X(\text{Validasi}, i))^2) / n) \dots (1)}$$

Keterangan:

σ = RMSE (*Root Mean Square Error*)

n = jumlah titik cek yang diuji

i = bilang bulat dari 1 sampai n

X model = ukuran model

X validasi = ukuran validasi

2.6 GIS (Geographic Information System)

GIS adalah suatu sistem berbasis komputer yang memiliki kemampuan dalam menangani data bereferensi geografi yaitu pemasukan data, manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan kembali), manipulasi dan analisis data, serta keluaran sebagai *output* (Aronoff, 1989). Kemajuan teknologi di bidang komputer yang begitu pesat telah mendorong semakin berkembangnya sebuah informasi, yakni salah satunya informasi geografis dunia pariwisata (Tumimomor, Jando, and Meolbatak 2013). Hasil akhir (*output*) dapat dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan pada masalah yang berhubungan dengan geografi. Transportasi merupakan salah satu faktor yang terpenting dalam pembangunan pariwisata. Transportasi berhubungan dengan rute atau jalur yang menghubungkan wisatawan menuju destinasi.

a. Network Analysis

Network analysis pada SIG digunakan untuk menemukan jarak terpendek melalui segmen garis

menurut panjang geometri garis. Model data dibuat dengan memberikan faktor pembobot pada segmen garis (jalan). Penentuan jalur terpendek pertama menggunakan Algoritma Dijkstra, yang berfungsi untuk mencari jalur terpendek dari satu node ke node. Algoritma ini menghitung rute/jarak secara rasional, yang tergantung pada optimalisasi kriteria yang dipilih pada rute yaitu faktor pembobot seperti panjang segmen jalan, waktu yang ditempuh dari satu node ke node yang lain, laju kendaraan, kepadatan lalu lintas, dll (Jakimavičius and Mačerinskienė 2006).

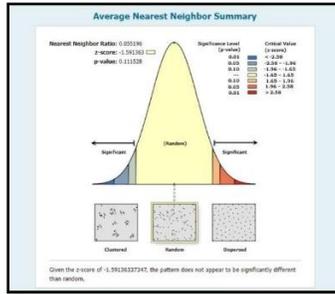
Network Analysis merupakan analisis tingkat lanjut yang memanfaatkan segmen atau fitur garis sebagai cara untuk analisa. Pada dasarnya *file* garis tersebut harus berada dalam *Geodatabase* untuk membangun *database* jaringan. Antara arc harus terhubung, jika tidak maka jalan tersebut dianggap putus. Penamaan field yang berisikan data kondisi jalan harus mengikuti aturan (Esri, 2006).



Gambar 2.6 Network Analysis

b. Nearest Neighbor Analysis

Analisis tetangga terdekat atau *Nearest Neighbor Analysis* adalah suatu teknik analisis spasial yang digunakan untuk menentukan pola persebaran dari titik-titik lokasi. Metode ini menghitung jarak antara setiap titik lokasi dengan titik lokasi terdekat yang lain, dan kemudian menghitung rasio antara jarak yang diamati dengan jarak yang diharapkan jika titik lokasi digunakan secara acak. Dalam analisis terdekat, rentang nilai indeks biasanya berkisar antara 0 dan 2,15. Jika indeks mendekati nol, artinya titik-titik lokasi cenderung tersebar secara merata atau acak. Jika indeks lebih besar dari 1, artinya titik-titik lokasi cenderung berkelompok atau mengelompok. Sedangkan jika indeks mendekati 2,15, artinya titik-titik lokasi cenderung membentuk pola persebaran yang teratur atau berkala (Hagget 1975).



Gambar 2.7 Nearest Neighbor Analysis

III. Metode Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Desa Penglipuran adalah sebuah Desa tradisional di Kabupaten Bangli, Bali, Indonesia. Desa Penglipuran Terletak pada 8.3961° LS, 115.3469° BT. Desa ini terkenal karena arsitektur tradisional dan kebersihannya yang sangat dijaga. Desa ini merupakan salah satu desa adat yang masih mempertahankan tradisi dan budaya Bali yang asli. Desa Penglipuran dikelilingi oleh pegunungan, terdiri dari beberapa jalan sempit dan banyak rumah tradisional yang dibangun dari bambu dan kayu. Ada juga beberapa fasilitas pariwisata yang tersedia di Desa ini, seperti restoran, toko oleh-oleh, dan tempat penginapan.



Gambar 3.1. Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

a. Alat

Adapun alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini yaitu :

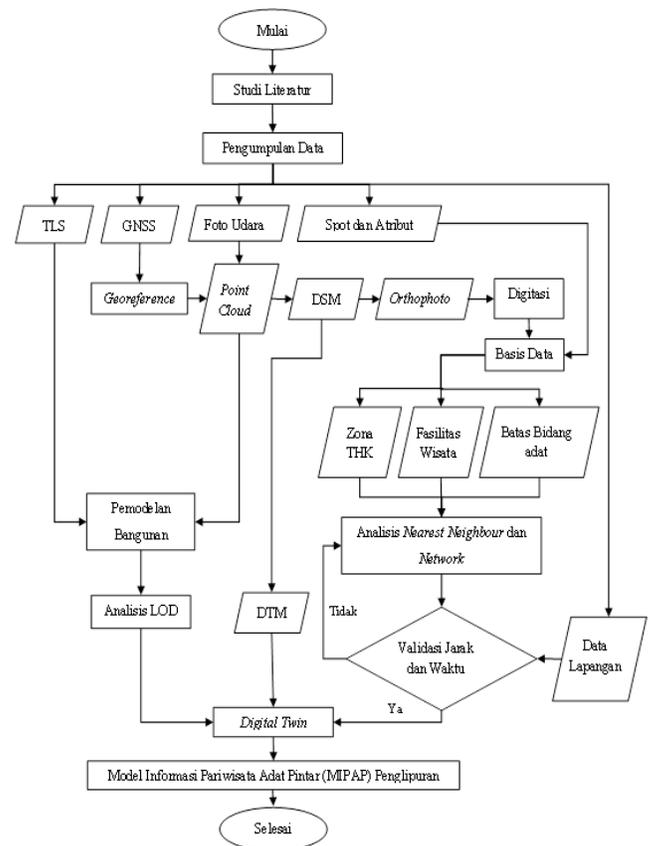
perangkat keras : (*Laptop Lenovo Ideapad Gaming Core i7 GTX 1650, Drone DJI Phantom 4 Pro, GPS Geodetic, meteran, Handphone, alat tulis.*)

Perangkat lunak : (*Microsoft Office 2016, Agisoft Metashape Pro, Arcgis 10.8, Arcgis pro 3.0, PostgreeSQL, PostgreeSQL odbc, Recap pro 2019, Autodesk Revit 2020, BIM vision.*)

b. Bahan

Adapun bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu data primer (data foto udara, data GNSS, data validasi, data spot wisata dan fasilitas, dokumentasi). Data sekunder (data batas kepemilikan adat, data TLS 2018).

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data spasial dan non-spasial. Data spasial diperoleh melalui metode

akuisisi TLS, GNSS, dan Fotoudara. Sementara itu, data non-spatial dikumpulkan melalui metode observasi dan identifikasi. Proses georeferensi dilakukan dengan memberikan informasi geografis pada data citra, sehingga menghasilkan data *pointcloud*, *Digital Surface Model (DSM)*, dan *Orthophoto*. Data *pointcloud* merupakan model tiga dimensi yang terdiri dari titik-titik yang membentuk objek dalam foto udara, sedangkan DSM adalah model permukaan digital yang memperlihatkan relief objek pada foto udara. *Orthophoto* merupakan citra geografis yang terdistorsi dan memiliki resolusi tinggi.

Selanjutnya, penelitian ini juga melakukan pengolahan data pada model 3D BIM dan GIS, termasuk pengolahan data foto udara mulai dari filtering *pointcloud* untuk menghilangkan noise dan meningkatkan akurasi model 3D. Proses pembuatan model 3D BIM dilakukan dengan menggunakan *pointcloud* dari data TLS (*Terrestrial Laser Scanner*) dan foto udara sebagai referensi. Data tersebut diolah dengan menggunakan *software Autodesk Revit 2020*, yang memungkinkan pembuatan model 3D dengan detail dan akurasi tinggi. Hasil akhir dari proses ini adalah model 3D BIM yang menggambarkan objek dan fitur dari lokasi penelitian secara detail dan akurat. Pembuatan lantai bangunan dilakukan dengan menggunakan instrumen *floor* pada *tool architecture*, sementara pembuatan dinding atau badan bangunan dilakukan dengan memilih *wall* pada *tool architecture* dan memilih dinding yang diinginkan. Atap dibuat dengan memilih *roof* pada *tool architecture*. Selanjutnya, *share parameters* adalah fitur *Revit* yang memungkinkan untuk membagikan parameter antar objek. Ini memungkinkan untuk menjaga konsistensi informasi.

Untuk pembuatan basis data, digunakan *software PostgreSQL*. Berikut merupakan entitas basis data untuk pembuatan *Digital Twin* yaitu titik-titik fasilitas wisata, bangunan, persil, jalan, zona, dan area. Digitasi adalah proses mengubah data analog menjadi data digital yang dapat digunakan pada GIS.

Dalam pengolahan data DSM, digunakan *software PCI Geomatica* yang menyediakan berbagai alat pemrosesan citra. Langkah-langkah yang diperlukan dalam rangka mengubah data DSM menjadi DTM menggunakan *PCI Geomatica* adalah membuka proyek baru, menambahkan data

DSM, menjalankan proses ekstraksi DTM, memverifikasi hasil DTM, melakukan koreksi jika perlu, dan menyimpan hasil DTM dalam format yang diinginkan.

Dalam penelitian ini, hasil dari pengolahan data meliputi model 3D BIM dan GIS yang menggambarkan objek dan fitur dari lokasi penelitian secara detail dan akurat. Model 3D BIM dapat digunakan sebagai alat bantu untuk merencanakan dan membangun bangunan atau infrastruktur lainnya dengan lebih efisien. Sedangkan, data GIS dapat digunakan untuk analisis spasial dan pengambilan keputusan yang tepat. Penelitian ini membahas tentang penggunaan teknologi geospasial, seperti BIM dan GIS, dalam pembuatan *Digital Twin*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis LOD (*Level Of Development*)

a. Analisis LOD (*Level Of Development*)

Analisis LOD (*Level of Development*) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat detail dan akurasi sebuah BIM (*Building Information Modeling*) dibandingkan dengan bangunan aslinya. Metode ini telah banyak digunakan dalam industri konstruksi sebagai alat untuk mengevaluasi kualitas dan akurasi model BIM, serta membantu mendeteksi kesalahan atau ketidakcocokan dalam model.

Dalam konteks ini, model BIM dibuat menggunakan *software Autodesk Revit 2020*, dan data *pointcloud* digunakan sebagai referensi untuk pemodelan. Penggunaan data *pointcloud* memungkinkan model BIM dibuat dengan akurasi yang lebih tinggi, karena data *pointcloud* adalah hasil dari pemindaian laser terhadap bangunan asli, sehingga memberikan informasi yang lebih akurat dan detail tentang bangunan asli.

Table 4.1 Analisis LOD

No	Nama Bangunan	Level Of Detail	Level Of Information	Level Of Development
1	Aula Desa	LOD 2	LOI 400	LOD 300
2	Bale Banjar I	LOD 2	LOI 300	LOD 300
3	Bale Banjar II	LOD 2	LOI 300	LOD 300
4	Bale Banjar III	LOD 2	LOI 300	LOD 300
5	Bale Banjar IV	LOD 2	LOI 300	LOD 300
6	Bale Patok	LOD 2	LOI 300	LOD 300
7	Guest House I	LOD 2	LOI 300	LOD 300
8	Guest House II	LOD 2	LOI 300	LOD 300
9	Guest House III	LOD 2	LOI 300	LOD 300
56	-	-	-	-

b. Perbandingan *Pointcloud* dan Model BIM

Pointcloud adalah data tiga dimensi yang dihasilkan oleh pemindaian laser (Lidar) atau teknologi pengambilan gambar lainnya. Data ini berisi jutaan titik koordinat yang merepresentasikan bentuk dan struktur objek atau lingkungan yang dipindai. *Pointcloud* digunakan untuk membuat model tiga dimensi yang akurat dan terperinci dari objek atau lingkungan yang dipindai. Sementara itu, model BIM (*Building Information Modeling*) adalah model tiga dimensi yang dibuat dengan menggunakan perangkat lunak BIM. Model BIM berisi informasi yang terkait dengan struktur bangunan seperti dimensi, material, dan detail konstruksi. Model BIM digunakan untuk merencanakan, mendesain, membangun, dan mengelola proyek konstruksi. Perbandingan antara *pointcloud* dan model BIM adalah sebagai berikut:

1. Akurasi, *pointcloud* memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi karena mencakup jutaan titik koordinat yang dihasilkan oleh pemindaian laser. Sementara itu, model BIM memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah karena mengandalkan data yang dimasukkan oleh pengguna.
2. Detail, *pointcloud* dapat menangkap detail objek atau lingkungan yang sangat halus, sementara model BIM biasanya hanya mencakup detail konstruksi yang paling penting.
3. Penggunaan, *pointcloud* digunakan untuk membuat model tiga dimensi yang akurat dan terperinci dari objek atau lingkungan yang dipindai, sementara model BIM digunakan untuk merencanakan, mendesain, membangun, dan mengelola proyek konstruksi.
4. Kompleksitas, *pointcloud* dapat mencakup objek atau lingkungan yang sangat kompleks, sementara model BIM lebih cocok untuk digunakan pada proyek konstruksi yang kompleks namun tidak sekompleks *pointcloud*.



Gambar 4.1 Perbandingan *Pointcloud* dan BIM

c. Uji Ketelitian *Pointcloud* dan Model BIM

Pemodelan BIM yang telah dilakukan dapat digunakan untuk memperlihatkan kompleksitas penggunaan ruang 3D Pada Area wisata Desa Penglipuran. Pada penelitian ini memanfaatkan dimensi ukuran (Panjang, lebar, tinggi) sebagai parameter mendapatkan nilai ketelitian RMSE. Uji ini dilakukan dengan membandingkan dimensi *pointcloud* dengan model BIM.

perhitungan rmse digunakan sebagai uji ketelitian dua ukuran yaitu *pointcloud* dan juga model BIM. Parameter yang di uji dalam ketelitian ini ialah Panjang, lebar, dan juga tinggi bangunan. Bangunan yang dimodelkan sebanyak 56 model, berikut merupakan tabel uji ketelitian RMSE model BIM terhadap *pointcloud*, sebagai berikut:

Tabel 4.2 Uji Ketelitian *Pointcloud* dan Model BIM

No	Rute	Validasi Jarak(Meter)						Error			
		Lapangan	V 47	V 67	V 87	V 47	V 67	V 87	V 47	V 67	V 87
1	Rute 1	196.366	196.71	196.71	196.71	-0.34	-0.341	-0.34	0.116	0.116	0.116
2	Rute 2	132.88	134.24	134.24	134.24	-1.361	-1.361	-1.361	1.852	1.852	1.852
3	Rute 3	180.581	180.61	180.61	180.61	-0.032	-0.032	-0.032	0.001	0.001	0.001
4	Rute 4	102.449	102.39	102.41	102.38	0.06	0.038	0.065	0.004	0.001	0.004
5	Rute 5	82.428	82.653	82.642	82.652	-0.225	-0.214	-0.224	0.031	0.046	0.050
6	Rute 6	70.268	71.85	71.85	71.85	-1.582	-1.582	-1.582	2.503	2.503	2.503
7	Rute 7	65.555	65.37	65.371	65.37	0.185	0.184	0.185	0.034	0.034	0.034
8	Rute 8	111.926	113.77	113.77	113.77	-1.842	-1.842	-1.842	3.393	3.393	3.393
9	Rute 9	130.629	130.64	130.64	130.64	-0.007	-0.007	-0.007	0.000	0.000	0.000
10	Rute 10	167.161	162.93	162.93	162.93	4.232	4.232	4.232	17.910	17.910	17.910
JUMLAH									25.863	25.866	25.863
RMSE									1.608	1.608	1.608

4.2 Network Analysis

Pada penelitian ini menggunakan rute optimum sebagai salah satu fasilitas *Network analysis*. Rute ini di buat untuk asumsi rute tersebut akan optimal terhadap jarak tempuh maupun waktu tempuhnya. Analisis ini menghasilkan rute yang tercepat berdasarkan waktu, dan rute terpendek berdasarkan jarak. Penentuan rute optimum dilakukan dengan memasukan titik keberangkatan dan titik tujuan.

Ada 10 sampel rute yang digunakan untuk validasi jarak maupun waktu tempuh. Rute yang diuji dilakukan pada 3 kecepatan (kecepatan 47 meter / menit, kecepatan 67 meter / menit, kecepatan 87 meter / menit). Uji ketelitian jarak adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi analisis rute menggunakan data jaringan dan lapangan. Proses ini melibatkan perbandingan jarak yang dihitung menggunakan analisis jaringan dengan jarak yang sebenarnya diukur di lapangan. Berikut tabel hasil validasi rute berdasarkan jarak, sebagai berikut :

Tabel 4.3 Validasi berdasarkan jarak

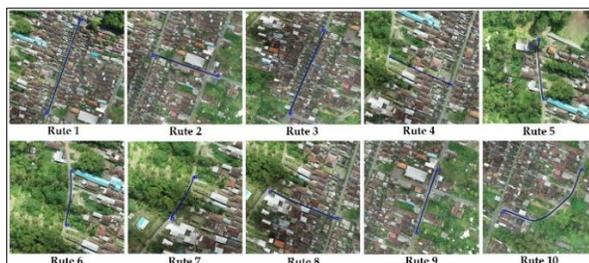
No	Validasi Jarak(Meter)						Δt			Error ²		
	Rute	Lapangan	V 47	V 67	V 87	V 47	V 67	V 87	V 47	V 67	V 87	
1	Rute 1	194.366	196.71	196.71	196.71	-0.34	-0.341	-0.34	0.116	0.116	0.116	
2	Rute 2	132.88	134.24	134.24	134.24	-1.361	-1.361	-1.361	1.852	1.852	1.852	
3	Rute 3	180.581	180.61	180.61	180.61	-0.032	-0.032	-0.032	0.001	0.001	0.001	
4	Rute 4	102.449	102.39	102.41	102.38	0.06	0.038	0.065	0.004	0.001	0.004	
5	Rute 5	82.428	82.653	82.642	82.652	-0.225	-0.214	-0.224	0.051	0.046	0.050	
6	Rute 6	70.268	71.85	71.85	71.85	-1.582	-1.582	-1.582	2.508	2.503	2.503	
7	Rute 7	65.555	65.37	65.371	65.37	0.185	0.184	0.185	0.034	0.034	0.034	
8	Rute 8	111.926	113.77	113.77	113.77	-1.842	-1.842	-1.842	3.393	3.393	3.393	
9	Rute 9	130.629	130.64	130.64	130.64	-0.007	-0.007	-0.007	0.000	0.000	0.000	
10	Rute 10	167.161	162.93	162.93	162.93	4.232	4.232	4.232	17.910	17.910	17.910	
JUMLAH									25.863	25.866	25.863	
RMSE									1.608	1.608	1.608	

Uji ketelitian waktu tempuh adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi akurasi analisis rute menggunakan data jaringan dan lapangan. Proses ini melibatkan perbandingan waktu tempuh yang dihitung menggunakan analisis jaringan dengan waktu tempuh rute dan waktu tempuh dilapangan menggunakan Stopwatch. Berikut tabel hasil validasi rute berdasarkan waktu tempuh, sebagai berikut:

Tabel 4.4 Validasi berdasarkan waktu tempuh

No	Validasi Waktu Tempuh (Detik)						Δt			Error ²		
	Rute	Lapangan	V 47	V 67	V 87	V 47	V 67	V 87	V 47	V 67	V 87	
1	Rute 1	2022	258.84	181.56	139.8	56.64	-20.64	-62.4	3208.090	426.010	3893.760	
2	Rute 2	122.46	171.36	120.18	92.58	48.9	-22.8	-29.88	2391.210	5.198	892.814	
3	Rute 3	1842	333.66	234.06	180	149.46	49.86	-42	22338.292	2486.020	17.640	
4	Rute 4	852	130.68	91.68	70.56	45.48	64.8	-14.64	2068.430	41.990	214.330	
5	Rute 5	846	105.48	73.98	57	20.88	-10.62	-27.6	435.974	112.784	761.760	
6	Rute 6	723	91.68	64.32	49.5	19.38	-7.98	-22.8	375.584	68.680	519.840	
7	Rute 7	68.54	83.4	58.5	34.26	19.86	-5.04	-29.28	394.420	25.402	857.318	
8	Rute 8	94.98	174	122.28	94.14	79.02	27.3	-0.84	6244.160	745.290	0.706	
9	Rute 9	143.4	166.74	116.94	90.06	23.34	-26.46	-53.34	544.756	700.132	2845.156	
10	Rute 10	155.4	207.96	145.86	112.3	32.56	-9.54	-48.08	2762.554	91.012	1855.886	
JUMLAH									40763.470	4697.518	11869.210	
RMSE									63.846	21.674	34.437	

Dari informasi yang diberikan, terlihat bahwa dilakukan validasi jarak dan waktu tempuh rute menggunakan *network analysis* dengan data jarak dan waktu tempuh di lapangan. Selanjutnya, dilakukan uji ketelitian yang menghasilkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) pada kecepatan 47 meter/menit sebesar 1.608 m dan 63.846 detik, pada kecepatan 67 meter/menit sebesar 1.608 m dan 21.674 detik, dan pada kecepatan 87 meter/menit sebesar 1.608 m dan 34.437 detik.



Gambar 4.2 Rute Network Analysis

4.3 Nearest Neighbour Analysis

Pola analisis tetangga terdekat (*nearest neighbor analysis*) adalah salah satu metode dalam analisis spasial yang digunakan untuk menentukan apakah pola mengelompokkan data (*clustering*) atau pola penyebaran data (dispersi) acak atau tidak. Ada beberapa instrument yang menjadi ukuran dalam membentuk pola dalam analisis tetangga terdekat, adalah sebagai berikut :

1. Jarak rata-rata (jarak rata-rata) merupakan ukuran jarak antara data dengan tetangga terdekatnya. Jarak rata-rata dihitung sebagai rata-rata dari semua jarak antara data dengan tetangga terdekatnya.
2. Jarak rata-rata yang diharapkan dihitung sebagai jarak rata-rata yang diharapkan jika data tersebar secara acak di dalam area analisis.
3. Rasio (rasio) digunakan untuk membandingkan jarak rata-rata yang diamati dengan jarak rata-rata yang diharapkan. Jika rasio lebih kecil dari 1, maka pola pengelompokan dinyatakan signifikan dan jika rasio lebih besar dari 1, maka pola penyebaran dinyatakan signifikan.
4. Skor-Z (*Z-score*) dapat digunakan untuk menguji rasio signifikansi. Skor-Z dihitung sebagai selisih antara rasio dengan rasio yang diharapkan jika data terdistribusi secara acak, dibagi dengan standar deviasi dari rasio yang diharapkan jika data terdistribusi secara acak.
5. Nilai-P (*P-value*) digunakan untuk menentukan signifikansi hasil uji Skor-Z. Nilai-P menunjukkan kemungkinan bahwa data yang diamati ditemukan secara kebetulan jika pola pengelompokan atau penyebaran acak.

Jadi, jarak rata-rata, jarak rata-rata diharapkan, rasio, Skor-Z, dan nilai-P saling terkait dalam mengatur pola analisis tetangga terdekat. Semua ukuran ini digunakan untuk mengevaluasi apakah pola pengelompokan atau penyebaran data signifikan atau tidak, serta seberapa kuat bukti yang mendukung hasil analisis. Berikut merupakan analisis *nearest Neighbour* yang dilakukan di beberapa wilayah Desa Penglipuran di dapatlah hasil sebagai berikut :

Tabel 4.5 Pola persebaran fasilitas wisata Desa Penglipuran

No	Wilayah	jarak rata-rata	jarak rata-rata yang diharapkan	Rasio	Skor- Z	Nilai-P	Pola
1	Area Desa	6.5593	10.9664	0.598126	-15.830838	0.000000	Kelompok
2	Utama Mandala	13.6662	16.389	0.833867	-1.524228	0.127452	Acak
3	Madya Mandala	5.6938	7.634	0.745847	-9.44054	0.000000	Kelompok
4	Nista Mandala	14.6932	23.4599	0.626312	-3.502235	0.000461	Kelompok

Dari data di atas, terdapat 4 wilayah yang memiliki atribut jarak rata-rata dan jarak rata-rata yang diharapkan serta rasio, Setiap wilayah juga memiliki skor Z dan nilai P. untuk menunjukkan bagaimana posisinya dalam distribusi normal.

Tabel diatas ,berisi hasil ukuran dari empat wilayah yang berbeda,yaitu area desa , utama mandala, madya mandala, dan nista mandala. Wilayah tersebut kemudian dikelompokkan sesuai pola , yang dimana 3 wilayah (area desa, madya mandala, nista mandala) di anggap sebagai pola mengelompok dan 1 wilayah (utama mandala) dianggap sebagai wilayah acak.

4.4 Digital Twin

Digital twin merujuk pada representasi virtual dari destinasi pariwisata Desa Penglipuran. Informasi di dalam *Digital Twin* meliputi informasi semantik bangunan adat, rute perjalanan wisata, zona Tri Hita Karana, dan fasilitas seperti penginapan, kuliner, souvenir, dan lain-lain. BIM, analisis jaringan jalan, dan analisis tetangga terdekat adalah semua komponen penting dalam pembuatan *Digital Twin* MIPAP. Ini digunakan untuk membuat model komprehensif lingkungan, termasuk lokasi dan geometri bangunan, dengan format shapefile dan IFC. Sebagian fasilitas wisata berupa bangunan adat dan fasilitas umum digambarkan dalam format IFC bisa dilihat dari *level of detail* (LOD). Untuk *level of detail* (LOD 1) masuk ke dalam format *shapefile* (SHP), sedangkan untuk *level of detail* (LOD 2) ke atas masuk dalam format IFC.

Bangunan adat ditandai dengan kotak berwarna ungu sedangkan bangunan modern ditandai dengan kotak berwarna Putih. Di sebelah kanan jalan utama menuju pura memiliki nomor persil ganjil, sedangkan di sebelah kiri jalan memiliki nomor persil genap. Persil sendiri ditandai dengan kotak transparan dengan garis hitam. Di dalam persil terdapat zona Tri Hita Karana (Utama, Madya, dan Nista), kedua komponen *Digital Twin* tersebut, disebut juga ruang adat dan memiliki

format file SHP. Untuk melakukan pencarian fasilitas wisata di Desa Penglipuran dapat dilakukan menggunakan *tools query* pada *Software Arcgis Pro*, seperti gambar 4.3.

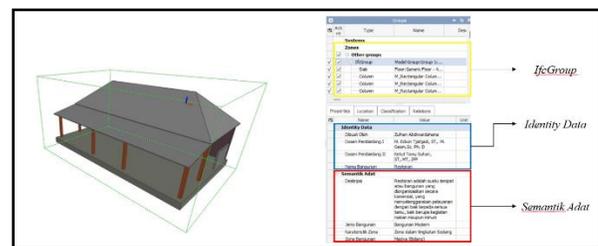


Gambar 4.3 Digital twin MIPAP

Dalam memberikan informasi lebih detail tentang semantik adat dan bangunan adat, diperlukan integrasi informasi semantik adat ke dalam BIM yang telah dibuat. Informasi tambahan tersebut dapat ditambahkan pada model dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit*, dan kemudian di ekspor dengan skema IFC. Sebelum model diekspor ke dalam skema IFC, *Property Set* ditambahkan dengan membuat *Object Oriented Code IFC* dan menambahkannya pada *user defined property*. Codingan yang dibuat, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4, dan perlu dipastikan bahwa informasi tersebut dapat terbaca dengan benar dalam format IFC.



Gambar 4.4 Digital twin MIPAP



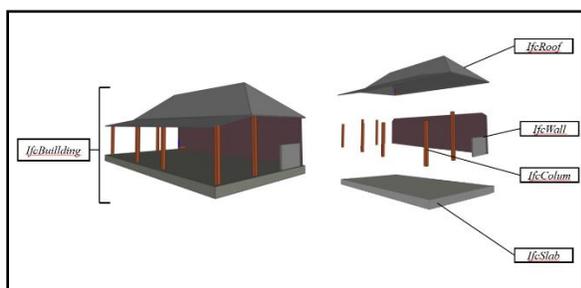
Gambar 4.5 Digital twin MIPAP

Pada model bangunan Gambar 4.5, informasi "*Identity Data*" yang ditampilkan adalah "Dibuat Oleh" menunjukkan informasi pembuat model bangunan adalah "Zulhan Abdiwardhana", "Dosen Pembimbing I" menunjukkan bahwa model diperiksa oleh Dosen Pembimbing I "M. Edwin Tjahjadi, ST,.

M. Geom.Sc. Ph. D”, “Dosen Pembimbing II” menunjukkan bahwa model diperiksa oleh Dosen Pembimbing II “Ketut Tomy Suhari, ST, MT, IPP”, “Nama Bangunan” yaitu menunjukkan informasi nama dari bangunan “Restoran”.

Sedangkan informasi “Semantik Adat” yang ditampilkan adalah “Deskripsi” yaitu teks atau paragraf yang menggambarkan suatu objek “Restoran adalah suatu tempat atau bangunan yang diorganisasikan secara komersial, yang menyelenggarakan pelayanan dengan baik kepada semua tamu, baik berupa kegiatan makan maupun minum”, “Jenis Bangunan” menginformasikan suatu jenis dari bangunan model yaitu “Bangunan Modern”, “Zona Bangunan” menginformasikan nama zona Tri Hita Karana dari model yaitu “Zona Madya”, “Karateristik Zona” mendefinisikan Zona Tri Hita Karana “Zona dalam tingkatan Sedang”.

Pada penelitian ini BIM memberikan informasi model mengenai bangunan yang akan dimanfaatkan untuk kebutuhan informasi semantic adat yang didefinisikan dengan struktur format IFC. Penambahan struktur format IFC ini dilakukan pada *software Autodesk Revit* dan ditampilkan pada IFC data viewer yaitu *BIMviewer*. Untuk mendefinisikan keseluruhan model bangunan digunakan “*IfcBuilding*”. “*IfcBuilding*” ini dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan semantic adat. Komponen utama bangunan didefinisikan menggunakan “*IfcWall*” untuk dinding, “*IfcSlab*” untuk lantai, “*IfcColum*” untuk kolom atau Tiang, “*IfcRoof*” untuk Atap. Ilustrasi komponen tersebut terdapat pada gambar 4.9.

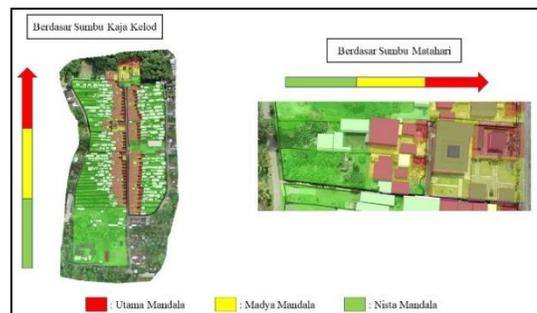


Gambar 4.6 Digital twin MIPAP

Pada penelitian ini *Digital Twin* memberikan informasi model mengenai ruang adat. Ruang adat yang dimaksud disini ialah Zona Tri Hita Karana (Utama mandala, Madya mandala, Nista mandala). Zona utama tempat yang paling suci dan berada di paling utara. Madya mandala adalah zona untuk manusia. Di sini masyarakat Desa penglipuran akan tinggal bersama dengan keluarganya di

sebuah unit bangunan yang disebut sebagai pekarangan. Nista mandala berada di bagian paling selatan dan merupakan zona yang dianggap tidak suci. Oleh karena itu, zona ini berisikan Pura kuburan Desa, Pura Kuburan dan Pura Dalem atau tempat pemujaan Dewa Siwa.

Dalam konsep tata ruang Bali penataan lingkungan dan penempatan bagian-bagian rumah selalu berkiblat ke arah utara. Hal ini dipengaruhi oleh kebudayaan tua yang menempatkan arah utara sebagai tempat tertinggi dan suci. Sehingga pola penempatan bangunan Desa selalu melintang dari utara ke selatan, dengan utara sebagai bagian suci. Sedangkan dalam tata ruang bangunan tinggal memiliki konsep sanga mandala, dimana sebuah bangunan terbagi menjadi bagian utama, madya dan nista. Konsep ini mengacu kepada dua hal, yang pertama kepada arah lintasan matahari (timur-barat). Bagian bangunan timur lebih mulia dibanding bagian barat. Dan yang kedua mengacu pada sumbu kaja kelod (gunung-laut), dimana arah gunung lebih mulia ketimbang arah laut.



Gambar 4.7 Digital twin MIPAP

Pada Penelitian ini, analisis *network* memberikan informasi mengenai rute optimum dengan waktu tempuh dan jarak. Analisis jaringan jalan melibatkan pemodelan aliran lalu lintas dan pejalan kaki dalam jaringan jalan, ini dapat melibatkan analisis rute alternatif yang memiliki informasi jarak dan waktu untuk menentukan jalur terbaik untuk mencapai tempat tujuan. Dalam konteks *digital twin* analisis rute dapat digunakan untuk memantau dan memperbaiki rute wisata dan transportasi, memastikan rute tersebut efisien, sehingga pengunjung dapat menikmati pengalaman wisata yang lebih baik. Rute optimum rute merupakan salah satu fasilitas dari *Network Analysis*, dan digunakan untuk menentukan jalur yang bisa ditempuh.

Rute (*Polyline* biru) atau jalur wisata pejalan kaki dari loket (titik 1) bagian tengah, menuju Restoran

(titik 2) dengan rumah nomor 22 (pemilik I Ketut Yuanti). Zona pada loket menunjukkan bahwa itu merupakan wilayah zona nista, sedangkan pada zona Restoran merupakan zona Madya. Sehingga dari kedua zona tersebut memungkinkan untuk wisatawan memasuki daerah tersebut tanpa menggunakan pakaian sembahyang adat bali. Berikut rute bisa dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.8 Digital twin MIPAP

Rute optimum dari loket tengah menuju restoran menghasilkan jarak tempuh sebesar 144,151 meter dan waktu tempuhnya sebesar 2,224 menit pada kecepatan 67 meter/menit dengan berjalan kaki. Berikut *pop up* rute pada gambar 2.12.



Gambar 4.9 Digital twin MIPAP

V. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pendekatan *digital twin* pada ruang adat di Desa Penglipuran dapat dilakukan dengan memanfaatkan model 3D yang terintegrasi dengan data geospasial. BIM dalam *digital twin* Desa penglipuran menyediakan representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional bangunan adat. Ini digunakan untuk membuat model lingkungan yang komperhensif, termasuk informasi lokasi, dan geometri bangunan, dan memiliki informasi semantik adat bangunan penglipuran dengan akurasi tinggi. pendekatan *digital twin* dalam perspektif geospasial dapat membantu dalam pemahaman, pengelolaan, dan pemetaan risiko bencana. Selain itu, *digital twin* juga dapat membantu dalam

pengembangan dan perencanaan pembangunan yang lebih berkelanjutan di masa depan.

2. Pemanfaatan *digital twin* dalam analisis *network* menggunakan rute optimum pada penentuan akses fasilitas juga dapat dilakukan, dengan akurasi RMSE jarak yang tidak berubah sebesar 1.608 m dan RMSE waktu tempuh yang dipengaruhi oleh kecepatan jalan kaki sebesar 34,437 detik sampai 63,846 detik terhadap 10 sampel rute. Pemanfaatan *digital twin* untuk wisata budaya di Desa Penglipuran membantu dalam mengidentifikasi pola persebaran objek wisata budaya. Hasil analisis *nearest neighbour* menunjukkan bahwa empat wilayah yaitu Area Desa, Zona Utama Mandala, Zona Madya Mandala, Zona Nista Mandala, dikelompokkan sesuai pola, yang dimana 3 wilayah (area Desa, madya mandala, nista mandala) di anggap sebagai pola mengelompok dan 1 wilayah (utama mandala) dianggap sebagai wilayah acak. Ini berguna untuk memahami bagaimana objek wisata budaya tersebar dan menentukan strategi pengelolaan yang tepat dari empat wilayah tersebut.

VI. Ucapan Terikasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya untuk semua orang yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama ini. Penulis sangat berterima kasih atas segala upaya yang telah diberikan. Tanpa kerja keras dan dedikasi serta dukungan mereka, penulis tidak dapat menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arayici, Yusuf, and Ghassan Aouad. 2010. "*Building information modelling (bim) for construction lifecycle management*".
- Aji Diti Seno, L.M. Sabri, Yudo Prasetyo. 2019. "*Analisis Akurasi DEM dan Foto Tegak Hasil Pemotretan dengan pesawat nir awak DJI Phantom 4*".
- Arida, I Nyoman Sukma. 2017. "*Kajian penyusunan kriteria-kriteria Desa wisata sebagai instrumen dasar pengembangan Desa wisata*".

- Aronoff, S. 1989. "Geographic Information Systems: A Management Perspective. WDL pub., Ottawa".
- Aziiza, A A. 2020. "Model Desa Pintar untuk Wilayah Pedesaan".
- Esri. 2006. "Network Analyst Tutorial".
- Fai, Stephen, Katie Graham, Todd Duckworth, Nevil Wood, and Ramtin Attar. 2011. "Building information modelling and heritage documentation".
- Firdaus, zenda mergita, hepi hapsari handayani, and husnul hidayat. 2021. "pemanfaatan data lidar dan foto udara untuk pemodelan kota tiga dimensi (studi kasus: wilayah surabaya barat)".
- Gale, christopher g, alexander d singleton, andrew g bates, and paul a longley. 2016. "creating the 2011 area classification for output areas (2011 oac)." *Journal of spatial information science, no. 12 (june): 1-27.*
- Hagget. 1975. "Nearest neighbor analysis. Inggris: university of Bristol".
- Jakimavičius, marius, and aida mačerinskienė. 2006. "a gis-based modelling of vehicles rational routes." *Journal of civil engineering and management 12 (4): 303-9.*
- Khajavi, siavash h., naser hossein motlagh, alireza jaribion, liss c. Werner, and jan holmstrom. 2019. "Digital twin: vision, benefits, boundaries, and creation for buildings." *IEEE access 7: 147406-19.*
- Liu, xin, xiangyu wang, graeme wright, jack cheng, xiao li, and rui liu. 2017. "a state-of-the-art review on the integration of building information modeling (bim) and geographic information system (gis)." *Isprs international journal of geo-information 6 (2):*
- plowman-craven. 2017. "BIM specification reference guide".
- Tumimomor, mailany, emanuel jando, and emiliana meolbatak. 2013. "sistem informasi geografis pariwisata kota kupang." *Jurnal nasional pendidikan teknik informatika (janapati) 2 (2): 142.*
- Wolf, P.R. 1981. "Prosesing Measurement Photogrammetry". Madison: University of Wisconsin.