

## *Development Of Virtual Reality Gis For Cultural Heritage Conservation (Case Study: Sewu Temple)*

### **Pembangunan Virtual Reality Gis Untuk Dokumentasi Konservasi Warisan Budaya (Study Kasus: Kompleks Candi Sewu)**

**Ririn Threesiana, Deni Suwardhi, Sugeng Riyanto**

Program Studi S1 Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung,  
Kelompok Keahlian Penginderaan Jauh dan Sains Informasi Geografis, Teknik  
Geodesi dan Geomatika ITB, Balai Arkeologi Yogyakarta

**Abstract.** Cultural heritage is an asset owned by any country that can tell behavior of people's life there. The story of the cultural heritage – one of them contained in archaeological object – is a story that have historical value and can not be replaced so we need to make the right efforts to conserve them, such as documenting the archaeological object we have, in this case is Sewu Temple Complex in Klaten, Central of Java. Conservation mean as branch of archeology that tries to preserve and manage archeological object to a lot of academic-practical interest (Yuwono, 2003). Geographic Information System that have storing, showing, and analyzing data ability, in the scope of conservation can used by archeologist for conserve or reconstruction. Principle of the development of virtual reality GIS for cultural heritage conservation is more directed to the terms of visualization. The several stage of this study are design the spatial database, data extraction – includes 3D modeling, 3D model georeferencing, 3D model segmentation, database implementation, and visualization process. The expectation result for this virtual reality GIS is an application that will represent 3-D visualization of Sewu Temple area, 3D models of each part of temple at LOD 2, LOD 3, until LOD 4. Beside that the application can be used for Temple reconstruction for more efficiently and effectively process.

**Keywords :** *Database, Virtual Reality GIS, Conservation, 3D Models*

**Abstrak.** Warisan budaya merupakan kekayaan yang dimiliki oleh setiap bangsa yang dapat menceritakan perilaku kehidupan masyarakat pada suatu bangsa. Cerita yang terkandung dalam suatu warisan budaya, yang salah satunya tertuang pada Benda Cagar Budaya, merupakan cerita yang memiliki nilai sejarah dan tidak pernah bisa digantikan sehingga perlu dilakukan upaya-upaya yang tepat untuk melestarikan cerita sejarah yang kita dimiliki salah satunya dengan mendokumentasikan warisan budaya (Kompleks Candi Sewu, Klaten, Jawa Tengah). Konservasi dapat diartikan sebagai cabang arkeologi yang mencoba untuk mempreservasi dan mengelola objek arkeologis untuk berbagai kepentingan akademis-praktis di masa sekarang dan mendatang (Yuwono, 2003). Sistem informasi geografis yang menyediakan kemampuan untuk menyimpan, menampilkan serta menganalisa data spasial, dalam kegiatan konservasi dapat berperan untuk arkeolog dalam kepentingan pemeliharaan maupun rekonstruksi. Pembangunan virtual reality GIS untuk dokumentasi konservasi warisan budaya pada prinsipnya lebih mengarah pada segi visualisasi. Tahapan yang dilakukan meliputi perancangan desain basis data, ekstraksi data yang meliputi pemodelan 3D, georeferensi model, segmentasi model bangunan candi, implementasi basis data, serta proses visualisasi. Hasil yang diharapkan dari virtual reality GIS ini yaitu aplikasi dengan visual 3D yang menampilkan visualisasi dari Kompleks Candi Sewu berupa foto udara, 3D kompleks candi, serta model 3D LOD 2, LOD 3, hingga LOD 4. Selain itu diharapkan aplikasi yang dibuat dapat membuat proses konservasi terutama rekonstruksi bangunan candi lebih efektif dan efisien.

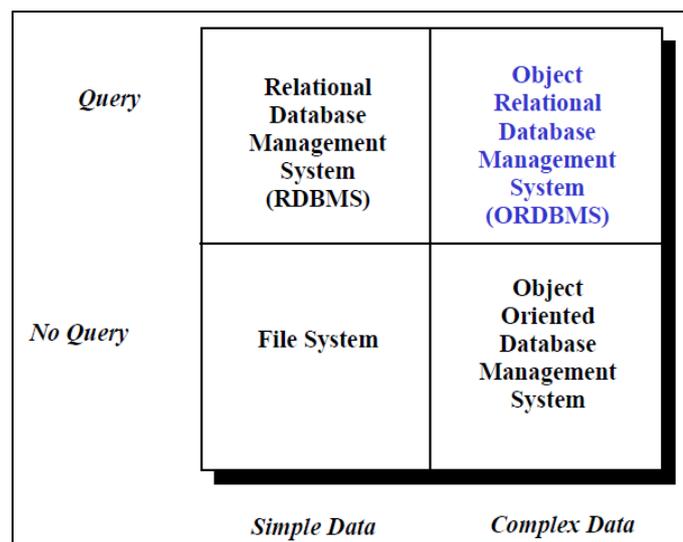
**Kata kunci :** *Basis Data, Konsevasi, Virtual Reality GIS, Model 3D*

## 1. Pendahuluan

V.J Herman menyatakan bahwa konservasi memiliki artian sebagai suatu tindakan untuk melindungi dari bahaya atau kerusakan; memelihara atau merawat sesuatu, dari gangguan, kemusnahan, atau keausan. Selain itu, konservasi menurut arkeologi adalah upaya kegiatan pelestarian benda arkeologi untuk mencegah atau menanggulangi permasalahan kerusakan atau pelapukannya, dalam rangka memperpanjang usianya. Upaya pelestarian dapat berupa pengawetan dan perbaikan (Samidi, 1996).

Dalam penelitian ini masalah yang dikemukakan adalah bagaimana memanfaatkan Sistem Informasi Geografis 3D dan *virtual-reality* untuk mendokumentasikan warisan budaya berupa candi yang akan dimanfaatkan sebagai sumber informasi penting mengenai catatan sejarah yang tertuang didalamnya. Selain itu dapat menganalisis informasi penting apa saja yang diperlukan untuk suatu kepentingan tertentu, misalnya untuk keperluan arkeologi atau untuk sumber pengetahuan orang-orang yang ingin mengetahui sejarah candi sewu. Tujuan penelitian ini diantaranya mempelajari konsep *virtual-reality* dalam aplikasinya untuk pendokumentasian untuk konservasi warisan budaya berupa candi dan mengaplikasikan Sistem Informasi Geografis 3D dan *virtual-reality* untuk mendokumentasikan warisan budaya berupa candi sebagai sumber informasi tentang cerita dan sejarah yang terdapat didalamnya dalam rangka konservasi objek arkeologi.

Pembuatan GIS dalam penelitian ini menggunakan konsep basis data relasional objek (*Object Relational Database*) dan teknik visualisasinya berupa teknik *virtual reality*. ORDB merupakan salah satu jenis sistem basis data yang dapat melakukan penyimpanan dan pengelolaan untuk objek-objek yang kompleks.



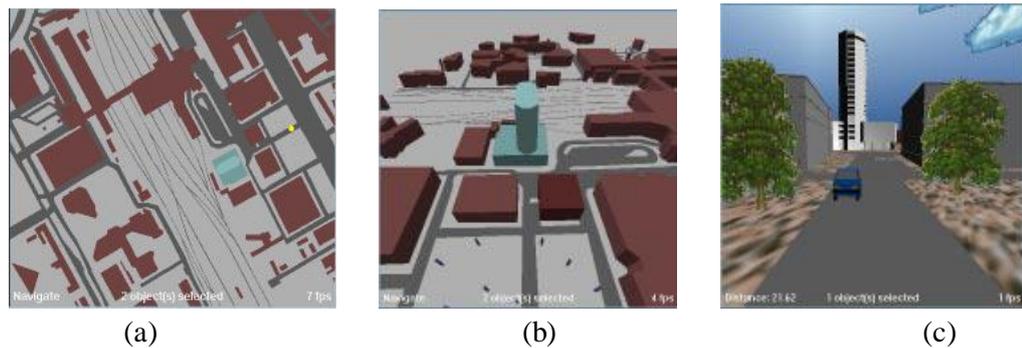
**Gambar 1.** Matriks klasifikasi database sederhana

Secara umum karakteristik dari pendekatan berorientasi objek terdiri dari empat aspek (Rumbaugh, et al, 1991): *Identity, Classification, Polymorphism, Inheritance*

(pewarisan). *Virtual Reality* (VR) adalah representasi yang realistis dari data (2D, 2.5D, dan 3D), yang berarti rincian dan sifat fisik yang diwakili sangat realistis bahkan dapat disajikan beserta suara dan perilaku dari objek. Manipulasi dan interaksi pada tampilan dapat dilakukan dengan *mouse click*, animasi, navigasi dan eksplorasi (Stoter & Zlatanova, 2003). Dalam teknik visualisasi Virtual Reality, terdapat 3 mode untuk pemodelan dan visualisasi yang disebut 'views' (Verbree, et al, 1998), yaitu:

1. Plan View (2D)  
Pada mode 'Plan view' informasi yang disajikan hanya dalam 2D dan mencakup area yang cukup luas dimana data GIS ditampilkan dalam sebuah format peta konvensional.
2. Model View (2,5D)  
Pada model view, model dideskripsikan dalam 2,5D atau 3D, dimana komponen ketinggian menjadi faktor yang penting.
3. World View (3D)  
Pada world view, visualisasi yang diberikan kepada pengguna yaitu sebagai orang pertama pada suatu daerah model tertentu.

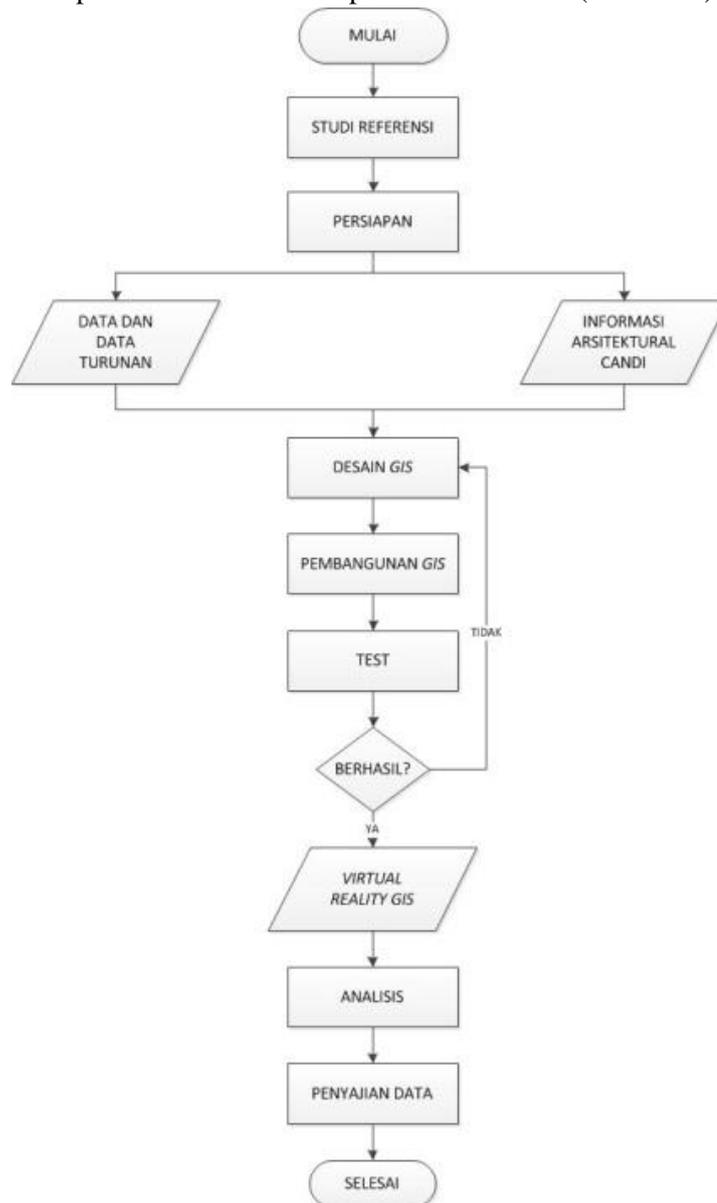
Metode tersebut dapat diilustrasikan dalam Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Mode pemodelan Virtual Reality (a)Plan view; (b) Model view; (c) World vie

## 2. Metode

Metode yang dilakukan penelitian ini meliputi rancangan sistem Virtual Reality GIS (VR-GIS), perancangan basis data, ekstraksi data yang dibutuhkan dalam pembuatan VR-GIS, pembangunan basis data, serta pengaplikasian Virtual Reality GIS untuk dokumentasi Kompleks Candi Sewu berupa visualisasi hasil (Gambar 3).



**Gambar 3.** Diagram alir metodologi penelitian

## 2.1. Rancangan Virtual Reality GIS

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan sistem Virtual Reality GIS dengan sistem basis data *Object Relational Database* (ORDB). Sistem VR-GIS kompleks Candi Sewu yang dibuat akan menampilkan beberapa tingkat kedetilan (level of detail) yaitu:

1. LOD 0  
Data yang ditampilkan pada tingkat kedetilan ini berupa model 2D, orthofoto atau aerial model yang merepresentasikan area kompleks candi sewu dan lingkungan sekitarnya.
2. LOD 1  
Pada tingkat kedetilan ini ditampilkan area kompleks candi sewu beserta bangunan candi yang masih berupa blok-blok candi tanpa atap.
3. LOD 2  
Pada tingkatan ini, model candi sudah direpresentasikan dalam geometri candi yang jelas, dimana bangunan candi telah dapat dibedakan antara bagian kaki, tubuh, dan atap candi, namun belum memiliki tekstur pada bangunannya.
4. LOD 3  
Pada tingkatan ini, model candi direpresentasikan dalam bangunan yang memiliki detail geometri seperti LOD 2 dan memiliki tekstur yang detil pada tiap bagian bangunan.
5. LOD 4  
Pada tingkatan ini akan ditampilkan relief detail dari bangunan candi.

## 2.2. Ekstraksi Data

Langkah-langkah persiapan (ekstraksi) data meliputi: pemodelan arca 3D, melakukan georeferensi untuk setiap model bangunan candi baik pada model LOD 2, LOD 3, hingga LOD 4, serta melakukan segmentasi bangunan candi. Pada penelitian ini untuk setiap entitas, data yang digunakan berupa sampel-sampel data yang mewakili. Sampel data arca yang diambil yaitu arca dwarapala Sedangkan sampel bangunan candi yang digunakan yaitu Candi Perwara Nomor 72.

### 2.2.1. Pemodelan Arca

Pemodelan arca dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Agisoft Photoscan Professional yang pengolahannya dilakukan secara otomatis. Model yang dibuat diberikan titik-titik kontrol agar model yang dihasilkan dapat tergeoreferensi.

### 2.2.2. Georeferensi Model 3D

Untuk memberikan koordinat bumi pada model, dilakukan transformasi koordinat dengan menggunakan perangkat lunak Australis. Transformasi dari sistem koordinat lokal ke sistem koordinat UTM zona 49S. Titik-titik sekutu (*ground control*) yang digunakan diperoleh dari orthophoto yang memiliki sistem koordinat UTM zona 49S dan DEM kompleks candi sewu dan titik-titik pada model 3D.

Transformasi tidak berhasil dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Australis, sehingga dilakukan secara manual dengan perangkat lunak Rapidform, dimana model-model 3D berupa arca dan candi bereferensi pada aerial model kompleks candi sewu yang telah memiliki sistem koordinat UTM zona 49S. Akan tetapi pusat koordinat UTM tersebut digeser agar nilai koordinat yang digunakan lebih kecil namun masih dapat merepresentasikan keadaan sesungguhnya.

### **2.2.3. Segmentasi Bangunan Candi**

Segmentasi bangunan candi ini dilakukan pada model candi LOD 3 dengan menggunakan perangkat lunak Geomagic Studio 2013. Segmentasi dilakukan dengan membagi-bagi bagian candi menjadi tangga, kaki candi, tubuh, dan atap.

### **2.2.4. Ekstraksi Informasi Candi**

Informasi tersebut meliputi informasi historikal, arsitektural, dan informasi bangunan candi lainnya. Informasi arsitektural candi meliputi teknik pembangunan candi, teknik pemasangan batu, teknik peratapan (pemasangan atap), bentuk lantai, dan jenis pahatan berupa relief. Selain itu, sistem penamaan bangunan-bangunan candi yang digunakan merujuk pada penamaan yang digunakan Dumarcahy.

## **2.3. Perancangan Basis Data**

Perancangan basis data pada penelitian ini meliputi desain konseptual, desain logikal, dan desain fisik.

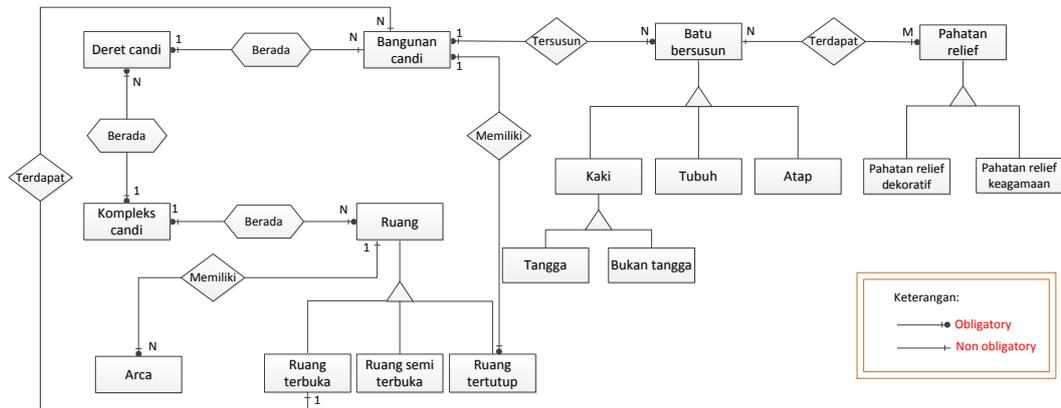
### **2.3.1. Desain Konseptual**

Desain konseptual adalah suatu model yang menampilkan entitas dari elemen data yang mencakup berbagai keperluan pengguna beserta hubungannya satu sama lain. Dalam tahapan ini dilakukan identifikasi terhadap entitas yang terkait dalam sistem informasi geografis untuk dokumentasi konservasi warisan budaya berupa kompleks candi sewu, sehingga dihasilkan 17 buah entitas. Entitas tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

### **2.3.2. Desain Logikal**

Desain logikal merupakan penerjemahan hasil desain konseptual menjadi model data berbasis relasi. Model penyimpanan basis data yang digunakan dalam sistem informasi ini adalah model objek relasional, dimana basis data dikelompokkan ke dalam beberapa tabel yang saling berhubungan dan menganut sistem pewarisan (*inheritance*).

Hasil perancangan sistem basis data dalam desain konseptual direpresentasikan kedalam bentuk diagram ER (Gambar 4)



Gambar 4. Diagram ER sistem basis data Candi Sewu

### 2.3.3. Desain Fisikal

Pembuatan desain fisik ini bertujuan menetapkan bagaimana model data yang direpresentasikan dalam desain logikal untuk disimpan dalam sistem manajemen basis data. Pada penelitian ini, implementasi fisik dari basisdata menggunakan perangkat lunak PostgreSQL/PostGIS.

### 2.4. Pembangunan Basis Data

Setelah data-data yang diperlukan diekstraksi, dilakukan pembangunan basis data dengan menggunakan PostgreSQL/PostGIS. Pembuatan basis data fisik diawali dengan membuat sistem basis data dengan nama 'candi\_sewu' dan *tablespace* penyimpanannya yaitu 'tblspc\_sewu'.

Setelah sistem basis data dibuat, selanjutnya memasukkan data-data spasial ke dalam sistem basis data. Data-data yang dimasukkan berupa data spasial 2D dan data spasial 3D. Data spasial 2D berupa shp dapat dimasukkan dengan menggunakan aplikasi shp2pgsql.

Pada penelitian ini, penyimpanan objek 3D berupa model candi, arca, dan relief diklasifikasikan menjadi 2 jenis tipe geometri yaitu:

1. Tipe geometri Polyhedralsurface untuk model candi LOD 2
2. Tipe geometri TIN untuk model aerial kompleks candi sewu, model candi dan arca LOD 3 serta model relief candi LOD 4.

Selain dari objek 3D, basis data Candi Sewu ini juga menyimpan tipe geometri raster untuk orthofoto dan DEM kompleks candi sewu (LOD 0). Untuk melakukan penyimpanan geometri model 3D ke dalam tabel, geometri dimasukkan dengan merepresentasikannya ke dalam format WKT (*Well-Known Text*).

Langkah-langkah untuk melakukan input data WKT ke dalam basis data sebagai berikut:

1. Data model 3D diubah format datanya ke dalam CyberWare ASCII File (\*.ply) agar didapatkan daftar koordinat penyusun model 3D diikuti dengan daftar verteks yang terlibat dalam setiap surface pembentuk model
2. Daftar koordinat dan daftar verteks dapat dipisahkan ke dalam dua buah file berbeda.
3. Fungsi MATLAB yang telah dibuat dapat dijalankan untuk membentuk file baru berisi data geometri model 3D (tipe geometri polyhedral surface dan TIN) yang memiliki format WKT yang dapat dimasukkan ke dalam basis data.
4. Hasil file yang terbentuk dari fungsi MATLAB tersebut memiliki format \*.txt yang kemudian disalin pada jendela SQL editor untuk dimasukkan ke dalam kolom geometri pada tabel yang telah dibentuk

```

1  update kompleks_candi set geom_3d = (ST_GeomFromEWKT(
   'SRID=32749; TIN( ((444483.906250 9143312.000000
   169.834702,444491.156250 9143369.000000
   170.313171,444426.781250 9143319.000000
   168.619904,444483.906250 9143312.000000 169.834702)),
2  ((444426.781250 9143319.000000
   168.619904,444491.156250 9143369.000000
   170.313171,444437.500000 9143405.000000
   168.488541,444426.781250 9143319.000000 168.619904)),
3  ((444491.156250 9143369.000000
   170.313171,444498.406250 9143426.000000
   171.134750,444437.500000 9143405.000000
   168.488541,444491.156250 9143369.000000 170.313171))),

```

Gambar 5. SQL penyimpanan objek 3D dalam format WKT dengan geometri TIN

## 2.5. Query Basis Data

Setelah sistem basis data Candi Sewu terbentuk, dilakukan query pada basis data. Salah satu contoh query untuk menampilkan pahatan relief pada candi nomor 72 dengan lokasi relief pada sisi bagian utara tengah:

```

select * from pahatan_relief_keagamaan, tubuh_candi
where kode_candi='2p072' and lokasi_pahatan='utara tengah';

```

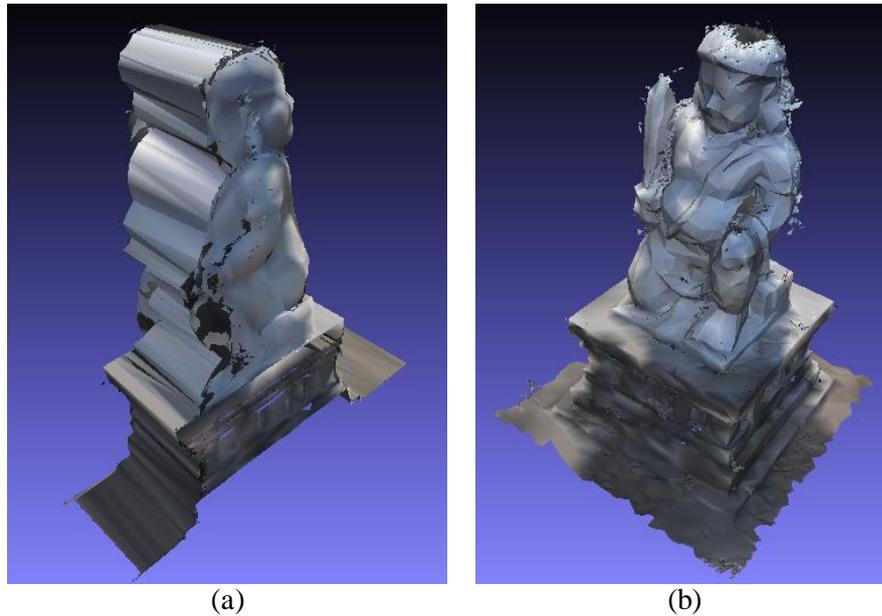
## 2.6. Visualisasi

Setelah data-data dimasukkan ke dalam sistem basis data yang telah dibuat, dilakukan visualisasi untuk menampilkan data-data yang disimpan. Pada penelitian ini, visualisasi dilakukan dengan cara melakukan query basis data pada PostgreSQL, yaitu mengubah data 3D yang telah disimpan tersebut menjadi format GML dan X3D kemudian divisualisasikan dengan GML Viewer atau FreeWRL/X3D Viewer.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Pemodelan Arca

Hasil pemodelan arca dengan menggunakan Agisoft dapat dilihat seperti pada Gambar 6 berikut.



**Gambar 6.** Hasil pemodelan arca (a) penambahan titik kontrol (b) penyekalaan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, model arca yang diberikan titik kontrol sistem koordinat UTM zona 49s memiliki hasil yang kurang baik jika dibandingkan dengan model yang hanya dilakukan penyekalaan (koordinat arca memiliki sistem koordinat lokal). Hal ini dapat disebabkan oleh ketelitian titik-titik kontrol yang didapatkan dari hasil orthofoto kurang baik dikarenakan ukuran arca relatif kecil sehingga penentuan titik-titik pada kaki arca tersebut sulit dilakukan dengan kondisi orthofoto yang memiliki gambar kurang tajam. Selain itu koordinat UTM yang memiliki nilai koordinat besar, kurang tepat untuk mendefinisikan arca yang memiliki ukuran planimetris hanya sekitar 2x2 meter.

### 3.2. Georeferensi Model 3D

Transformasi koordinat yang dilakukan untuk mengubah sistem koordinat model candi LOD 2 ke sistem koordinat UTM zona 49S pada perangkat lunak Australis ini tidak berhasil dilakukan. Berdasarkan laporan proses pada perangkat lunak Australis, 5 buah titik sekutu yang digunakan tidak dapat diproses (ditolak). Penolakan titik sekutu yang digunakan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya letak geometri titik-titik tersebut kurang baik karena posisi titik yang memungkinkan untuk dijadikan titik sekutu dan diketahui koordinatnya adalah pada ujung-ujung tapak bangunan candi. Selain itu, ketelitian dari koordinat titik-titik sekutu yang diperoleh dari orthofoto tersebut kurang baik karena tergantung pada kemampuan peneliti dalam menentukan titik dan kualitas (ketelitian) dari orthofoto.

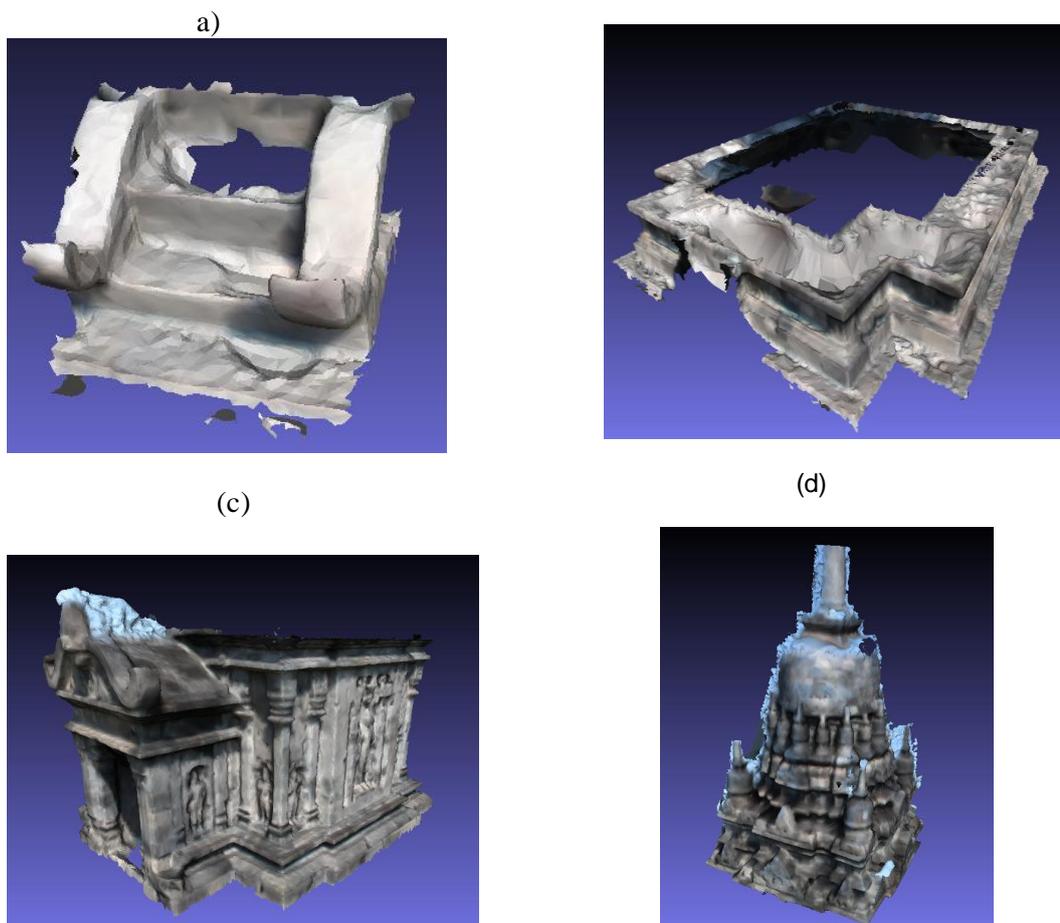
Kemungkinan penyebab gagalnya proses transformasi lainnya adalah koordinat model yang memiliki nilai koordinat relatif kecil dibandingkan dengan nilai koordinat candi pada sistem koordinat UTM zona 49S yang dapat menyulitkan dalam perhitungan nilai parameter-parameter transformasinya.

Pada penelitian ini kemudian digunakan sistem koordinat UTM dengan translasi pusat koordinatnya, sehingga koordinat sistem bernilai kecil. "Sistem koordinat lokal UTM semu" yang digunakan pada penelitian ini dinilai dapat membantu untuk membuat sistem koordinat kompleks candi seperti benar-benar dalam sistem koordinat bumi. Hal tersebut dapat menjadi sebuah solusi untuk menyatukan sistem koordinat candi, dimana sistem koordinat UTM dinilai belum mampu untuk mendefinisikan kompleks candi secara keseluruhan.

### 3.3. Segmentasi Bangunan Candi

Hasil segmentasi bangunan candi yang dibagi menjadi bagian tangga, kaki candi, tubuh candi, dan atap candi dari model candi LOD 3, dapat dilihat pada

Gambar 7. Hasil segmentasi (a)tangga; (b)kaki candi; (c)tubuh candi; (d)atap candi



**Gambar 7.** Hasil segmentasi (a)tangga; (b)kaki candi; (c)tubuh candi; (d)atap candi

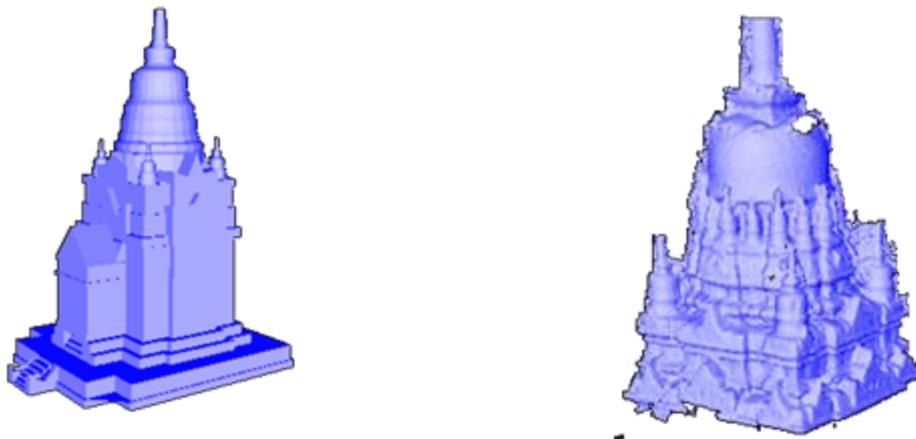
### 3.4. Pembangunan Basis Data

Sistem basis data Candi Sewu terdiri dari 20 tabel yang merupakan 17 tabel yang mewakili setiap entitas dan 3 tabel penghubung. Penyimpanan objek 3D menggunakan PostgreSQL masih belum efektif. Penyimpanan yang dapat dilakukan dalam format WKT, WKB, GML, GeoJSON, dan KML masih harus dilakukan secara manual. Selain itu, dalam penelitian ini penyimpanan yang dilakukan melalui SQL Editor ini masih dilakukan secara manual yaitu dengan melakukan teknik *copy-paste* terhadap data yang telah dihasilkan dari program yang telah dibuat menggunakan Matlab dan menghasilkan format data dalam bentuk text file ke dalam windows SQL Editor tersebut.

### 3.5. Visualisasi

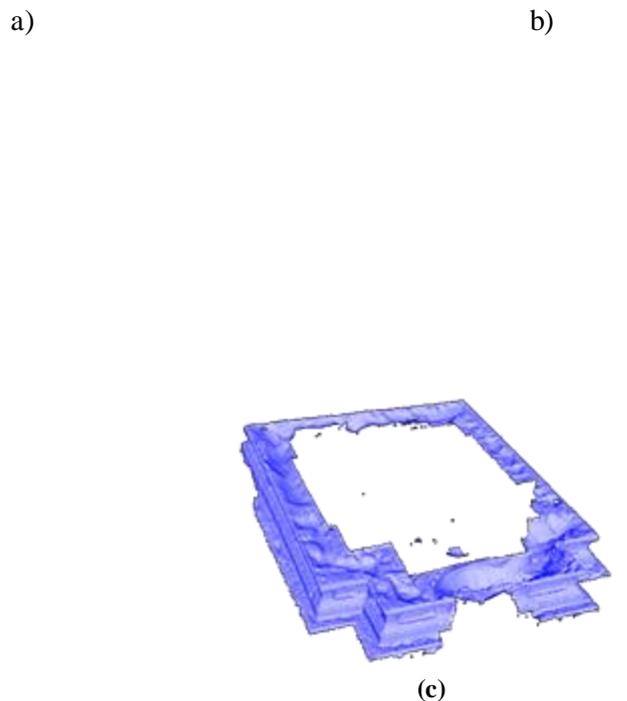
Visualisasi yang dilakukan dengan melakukan *query* pada basis data dengan mengubah format data yang disimpan kedalam format GML dan X3D. Hasil query yang dilakukan kemudian disalin kedalam *text file* atau ke dalam file yang diberi ekstensi sesuai dengan format data hasil query tersebut.

File GML hasil query pada PostgreSQL tidak dapat ditampilkan pada GML Viewer. Hal ini dikarenakan geometri objek 3D yang digunakan pada PostGIS yaitu polyhedral surface dan TIN, sedangkan GML secara umum mengenal geometri *point*, *linestring*, dan *polygon*. File X3D hasil query dapat ditampilkan seperti pada



(c)

Gambar 8



**Gambar 8.** Hasil visualisasi dengan X3D viewer  
(a) Candi perwara 72 LODD 2 (Polyhedralsurface) ; (b) Atap candi perwara 72 (TIN) ;  
(c) Kaki candi perwara 72 (TIN)

Visualisasi dengan menggunakan format X3D berhasil dilakukan dengan menggunakan FreeWRL (X3D Viewer). Berdasarkan hasil visualisasi, tidak ada perubahan bentuk geometri antara model-model 3D yang disimpan ke dalam basis data dengan model sebelum disimpan ke dalam basis data. Hal ini berarti dalam penyimpanan basis data tersebut, hanya terjadi perubahan format penyimpanan data saja tanpa mengubah bentuk geometrinya.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan proses pembangunan *virtual reality* GIS untuk dokumentasi konservasi warisan budaya, dapat disimpulkan:

- a. Untuk membangun sebuah *virtual reality* GIS diperlukan tahap-tahap pekerjaan yang cukup panjang, terutama untuk mendapatkan model yang sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan untuk penyimpanan dalam sistem basis datanya. Untuk mendapatkan data yang dapat memenuhi hal tersebut, sebaiknya pembuatan model 3D dengan teknik FRD dilakukan dengan mempertimbangkan kebutuhan pembuatan GIS, terutama untuk melakukan georeferensi pada model. Pembuatan basis data dengan menggunakan PostgreSQL untuk menyimpan data objek candi 3D, dinilai belum efektif karena saat ini belum dilengkapi kemampuan untuk mempermudah penyimpanan tersebut, sehingga juga masih perlu adanya program tambahan untuk dapat melakukan penyimpanan dengan format yang sesuai dengan PostgreSQL.

- b. *Virtual reality* GIS tidak hanya meliputi pembuatan basis data 3D, melainkan memerlukan keahlian untuk melakukan manipulasi proses visualisasi agar dapat dihasilkan Sistem Informasi Geografis yang dapat memenuhi kriteria. Dalam penelitian ini, sementara belum dapat dihasilkan *virtual reality* GIS yang utuh untuk kebutuhan konservasi warisan budaya, yaitu untuk kompleks candi sewu.

## 5. Referensi

Anindita, K. (2010). Penerapan Prinsip Konservasi Arkeologi Dalam Pemugaran Museum Bahari. Depok: Fakultas Ilmu Budaya Universitas Indonesia.

Barrodale Computing Service Ltd. (n.d.). Application of Object Relational Database Management System at BCS.

Charter, D. (2008). *Konsep Dasar WebGIS*. IlmuKomputer.Com.

Dumarçay, J. (1986). *Candi Sewu dan Arsitektur Bangunan Agama Buda Di Jawa Tengah*. Jakarta: Pusat Penelitian Arkeologi Nasional.

Fadinar, M. (2008). *Perancangan Sistem Informasi Pasut Berbasis Web*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika ITB.

Guting, R. H. (1994). *An Introduction to Spatial Database System*. Hagen: Fern Universität Hagen.

Haala, N. (2005). Towards Virtual Reality GIS. *Photogrammetric Week 05*, p. 285.

Murtiyoso, A. D. (2011). *Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Untuk Membantu Rekonstruksi Objek Arkeologi (Studi Kasus: Candi Perwara Nomor 72 Komplek Candi Sewu)*. Bandung.

OpenPlans. *Introduction to PostGIS*. Retrieved September 3, 2013, from OpenGeo: <http://workshops.opengeo.org/postgis-intro/3d.html>

Prahasta, E. (2009). *SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS Konsep-Konsep Dasar*. Bandung: Informatika.

Rumbaugh, J., Blaha, M., Premerlani, W., Eddy, F., & Lorensen, W. (1991). *Object-Oriented Modelling and Design*. New Jersey: Prentice-Hall.

Sirpal, S. Intro To RDBMS-OODBMS-ORDBMS.

Soekmono. (1985). Kata Sambutan. In J. Dumarcay, *Candi Sewu dan Arsitektur Agama Buda Di Jawa Tengah* (p. vii). Jakarta: CV. Gembira.

Stoter, J., & Zlatanova, S. (2003). *3D GIS, where are we standing?* Verbree, E., Verzijl, L., & Kraak, M.-J. (1998). Integrated 3D-GIS and VR Use of Virtual Reality and 3D-GIS within the Planning Process Concerning the Infrastructure. *Proceedings of the Spatial Information Research Centre's 10th Colloquium*, (p. 353). New Zealand.

Yusup. (2010). *Konsep Sistem Manajemen Basis Data Berorientasi Objek*. Majalah Ilmiah INFORMATIKA Vol. 1 No. 2.

Yuwono, J. E. (2003). *Aspek-Aspek Teknis Ekskavasi Dalam Kerangka Pemahaman Transformasi Data*.