

Representasi Model 3D Artefak Menggunakan Metode Structure From Motion Berbasis Fotogrametri Di Museum Ranggawarsita Semarang

Badroe Zaman¹, Eka Putri Rachmawati², Siti Asmiatun³

badroezaman@usm.ac.id¹, ekaputrirahmawati@usm.ac.id², siti.asmiatun@usm.ac.id³

^{1,2,3} Universitas Semarang

Informasi Artikel

Diterima : 19 Jun 2024
Direview : 19 Agu 2024
Disetujui : 3 Sep 2024

Kata Kunci

Tiga Dimensi, Structure from Motion, Fotogrametri, Artefak

Abstrak

Berkembangnya industri kreatif digital tumbuh dengan sangat pesat, pemanfaatan teknologi informasi menjadi pilihan salah satunya yakni teknologi representasi tiga dimensi (3D). Teknologi representasi 3D mendorong inovasi di berbagai sektor seperti realitas virtual, pembuatan film, video game, survei geospasial, arsitektur, dan arkeologi. Pemodelan 3D benda bersejarah menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Representasi model 3D dari artefak merupakan upaya dokumentasi digital jika benda tersebut mengalami kerusakan. Salah satu metode dalam representasi model 3D yaitu dengan menggunakan metode *Structure from Motion* (SfM) berbasis fotogrametri. Metode *Structure from Motion* (SfM) berbasis fotogrametri merupakan tahapan pembuatan model 3D dari beberapa gambar artefak yang ditangkap oleh kamera *smartphone* kemudian diolah menjadi objek 3D dari suatu perangkat lunak. Objek berupa foto pada penelitian ini diambil langsung dari beberapa sudut pandang pengambilan gambar di museum Ranggawarsita. Hasil model 3D dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai aset digital untuk berbagai keperluan seperti halnya media edukasi benda bersejarah.

Keywords

Three Dimensions, Structure from Motion, Photogrammetry, Artifacts

Abstract

The development of the digital creative industry is growing very rapidly, utilizing information technology as an option, one of which is three-dimensional (3D) representation technology. 3D representation technology drives innovation in various sectors such as virtual reality, filmmaking, video games, geospatial surveying, architecture, and archaeology. 3D modeling of historical objects has gained attention in recent years. 3D model representation of artifacts is an attempt at digital documentation in case the object is damaged. One of the methods in 3D model representation is by using the photogrammetry-based Structure from Motion (SfM) method. The photogrammetry-based Structure from Motion (SfM) method is a stage of creating 3D models from several artifact images captured by a smartphone camera and then processed into 3D objects from a software. Objects in the form of photos in this study were taken directly from several shooting viewpoints in the Ranggawarsita museum. The results of the 3D model in this study can be utilized as digital assets for various purposes such as educational media for historical objects.

A. Pendahuluan

Bangsa Indonesia memiliki berbagai kebudayaan dan peninggalan benda bersejarah yang perlu dilestarikan. Salah satu peninggalan benda-benda bersejarah dapat ditemukan di Kota Semarang yakni di museum Ranggawarsita. Museum Ranggawarsita merupakan museum provinsi yang terletak di Jl. Abdulrachman Saleh No 1, Kota Semarang. Museum Ranggawarsita menyimpan koleksi benda-benda bersejarah baik asli maupun replika khususnya yang ditemukan di provisini Jawa Tengah [1]. Benda-benda bersejarah memiliki cerita penting untuk diabadikan dan dijadikan pelajaran bagi generasi sekarang.

Pada era teknologi digital, representasi model tiga dimensi (3D) menjadi solusi untuk meniru objek nyata ke dalam bentuk digital 3D [2]. Teknologi representasi 3D merupakan salah satu bidang *computer vision*, bagaimana teknik visual yang terjadi pada manusia, dan bagaimana komputer memahami serta memproses informasi dalam persepsi ruang 3D mengenai volume dari suatu objek yang diamati [3]. Melalui representasi 3D, profil data model 3D suatu objek dapat ditentukan dari komputer [4]. Selain itu, komputer juga dapat menghasilkan model *triangle mesh* yang memiliki bentuk dan *volume* menyerupai objek nyata yang sedang diamati [5].

Beberapa penelitian telah dilakukan berhubungan tentang representasi 3D. Pada penelitian sebelumnya, berkaitan dengan fotogrametri dalam upaya pelestarian pada bangunan bersejarah, telah diusulkan metode fotogrametri jarak dekat (*Close Range Photogrammetry*) untuk menekan biaya yang tinggi [6]. Hasil dari metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan sebagai salah satu alternatif dokumentasi bangunan dan sebagai acuan rekonstruksi konservasi.

Penelitian lainnya, [7] tentang analisis deformasi pada Candi Gedong Songo melalui pembuatan model 3D dengan metode fotogrametri rentang dekat menggunakan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Rekonstruksi model 3D menggunakan perangkat lunak Agisoft menghasilkan model 3D yang cukup baik dalam merepresentasikan objek sebenarnya.

Metode *Structure from Motion* (SfM) dan *Multi View Stereo* (MVS) digunakan pada penelitian [8] dengan pendekatan rekonstruksi objek 3D berdasarkan beberapa gambar. Pada penelitian tersebut menggunakan model fotogrametri *pipeline* dengan dataset gambar sebanyak 61 yang diambil dari berbagai sudut.

Metode fotogrametri juga diterapkan pada penelitian [9] dalam pembuatan model 3D. Dalam penelitian tersebut, model 3D Kompleks Candi Arjuna dari penerapan fotogrametri diintegrasikan dengan teknologi *augmented reality*. Sehingga menjadikan hasil model 3D tersebut bersifat interaktif dan informatif.

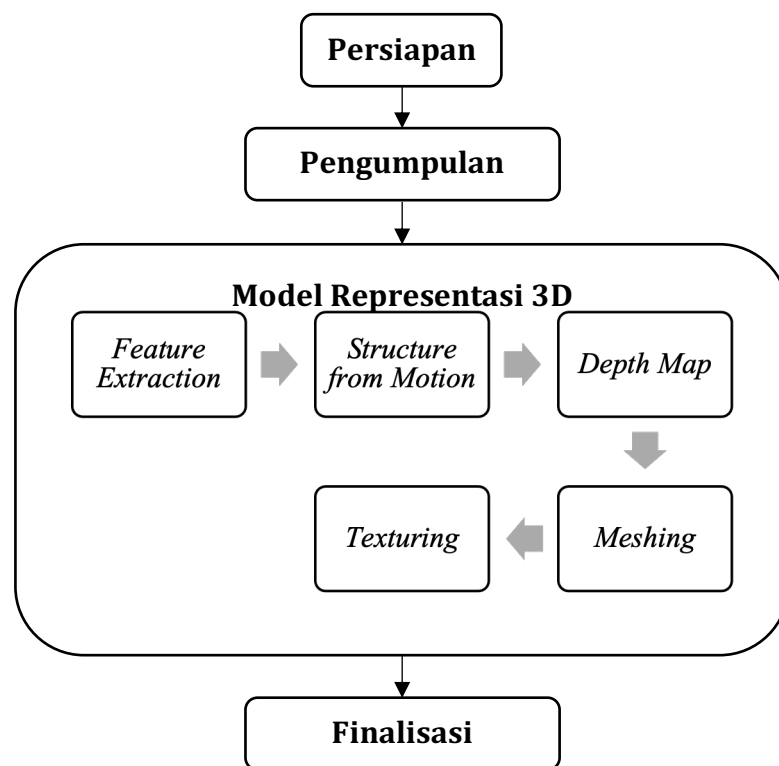
Representasi 3D diperlukan keahlian dan keterampilan dalam menguasai perangkat lunak khusus. Salah satu metode membentuk model 3D adalah metode fotogrametri. Informasi digital dari beberapa foto yang telah dikumpulkan, selanjutnya disatukan dengan menggunakan perangkat lunak dan diproses menjadi model 3D. Metode fotogrametri dapat menghemat waktu untuk membuat model 3D dengan tingkat kesulitan yang tinggi dan bentuk detail [10].

Pada penelitian yang akan dilakukan ini menerapkan suatu teknologi fotogrametri untuk digunakan merepresentasikan objek 3D dari beberapa gambar artefak yang diambil menggunakan kamera *smartphone* di Museum Ranggawarsita Semarang. Penelitian ini menggunakan metode *Structure from Motion* (SfM)

berbasis fotogrametri. Ada beberapa tahapan dalam penelitian ini terdiri dari persiapan, pengumpulan data, representasi 3D dan finalisasi. Melalui proses representasi model 3D ini, diharapkan model 3D dapat diperoleh dengan cepat, murah, dan efisien. Hasil model 3D dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai aset digital seperti halnya untuk keperluan media edukasi benda bersejarah di museum Ranggawarsita Semarang.

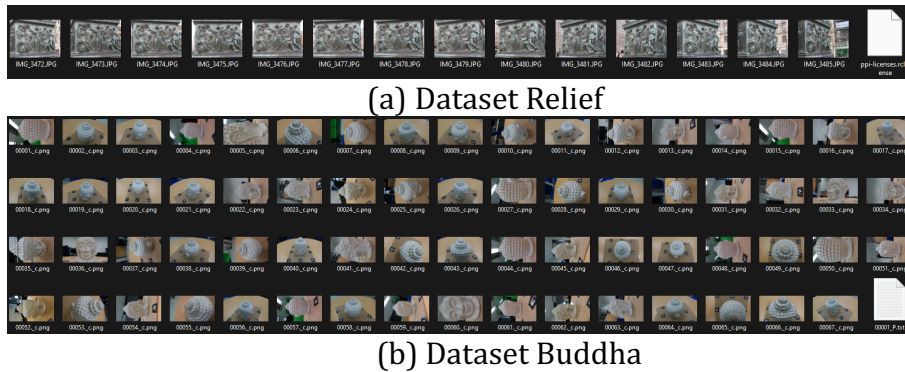
B. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian representasi model 3D ini adalah metode *Structure from Motion* (SfM) berbasis fotogrametri. Beberapa tahapan dalam penelitian ini terdiri dari persiapan, pengumpulan data, representasi 3D dan finalisasi. Kerangka kerja dari penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat dalam gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Kerja Penelitian

Tahapan kerangka kerja penelitian dari gambar 1 di atas dimulai dari tahap persiapan dengan menentukan objek apa yang akan diproses untuk menjadi model 3D. Selanjutnya tahap pengumpulan data, dimana data yang digunakan dalam penelitian ini diambil langsung dengan pengambilan gambar artefak dari berbagai sudut pandang di museum Ranggawarsita dengan menggunakan kamera *smartphone*. Penelitian ini juga menggunakan data publik yang diambil dari beberapa sumber [11] [12] untuk menguji metode yang diusulkan. Dataset penelitian ditunjukkan pada gambar 2. Setelah dataset diperoleh, selanjutnya adalah tahap representasi model 3D berbasis fotogrametri.



Gambar 2. Dataset Publik

Pada gambar 3.2 (a) merupakan dataset relief [11] kumpulan dataset foto relief yang terdiri dari 14 gambar yang diambil dengan kamera compact. Dataset Buddha [12] pada gambar 3. 2 (b) terdiri dari 67 gambar kepala buddha yang diambil gambarnya di atas meja.

Ada beberapa tahapan untuk membentuk sebuah model 3D. Dimulai dengan *feature extraction* untuk menemukan lokasi relative dari kamera. Kemudian membuat *structure from motion*, yang merupakan tahapan untuk mendapatkan *point cloud*. Setelah *point cloud* didapatkan, selanjutnya membuat peta kedalaman menggunakan fungsi *DepthMap*. Fungsi dari *DepthMap* yakni menghubungkan point cloud untuk membentuk sebuah bidang. Selesai tahap *DepthMap* dilanjutkan dengan tahapan *Meshing*. Pada tahap ini, bidang-bidang yang telah diperoleh mulai disatukan untuk membentuk sebuah model 3D. Kemudian tahap terakhir adalah tahap *Texturing*. Pada tahapan ini, proses pembentukan tekstur yang sesuai dengan objek aslinya baik dari segi warna, bentuk, dan posisi dari model 3D.

Proses terakhir adalah finalisasi yang terdiri dari evaluasi, penyempurnaan dan distribusi. Model 3D dari proses sebelumnya menghasilkan nilai evaluasi berupa nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Beberapa penyempurnaan model 3D diperlukan dengan menggunakan perangkat lunak lainnya. Pada penelitian ini, perangkat lunak *Blender 3D* digunakan untuk menghapus beberapa objek yang tidak diperlukan dalam model 3D. Langkah terakhir adalah distribusi model 3D dalam bentuk format file objek 3D sesuai dengan perangkat lunak yang umum digunakan.

C. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini akan dimulai dengan beberapa tahapan sesuai metode penelitian, sebagai berikut :

1. Persiapan

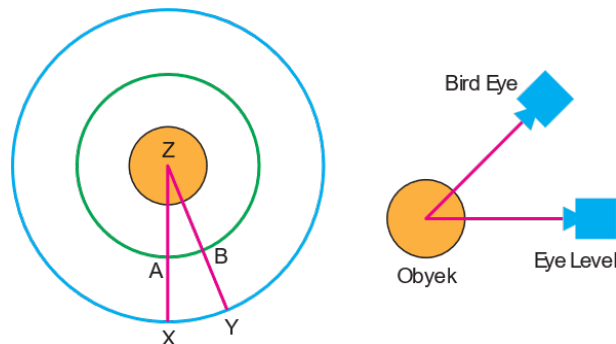
Dataset artefak yang digunakan dalam penelitian ini diambil langsung dari museum Ranggawarsita. Langkah awal sebelum mengambil dataset berupa foto adalah memilih objek nyata untuk dijadikan model 3D. Pada penelitian ini, peneliti memilih artefak Arca Durga yang berada di area luar museum sebagai objek penelitian. Berikut adalah tampak dari sisi depan Arca Durga pada Gambar 3.



Gambar 3. Arca Durga Tampak Depan

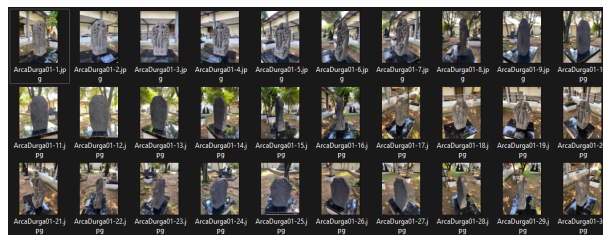
2. Pengumpulan Data

Sebelum pengambilan dataset foto artefak arca, peneliti membuat perencanaan alur pengambilan foto. Perencanaan pengambilan foto arca ditampilkan pada gambar 4. Proses pengambilan foto diambil langsung di Museum Ranggawarsita menggunakan 2 kamera *smartphone* yang berbeda dengan secara melingkar. Kamera *smartphone* yang digunakan pada penelitian ini adalah *iPhone 11* dan *Samsung M53*. Pada proses pengambilan foto dilakukan sebanyak 2 tahap dengan sudut pandang pengambilan yang berbeda. Tahap pertama didapatkan 15 foto dengan sudut pandang *eye level* (sejajar dengan objek). Tahap kedua didapatkan 15 foto dengan sudut pandang *bird eye* (lebih tinggi dari objek). Sudut antara foto sebesar $22,5^\circ$ (Sudut X-Z-Y dan Sudut A-Z-B).

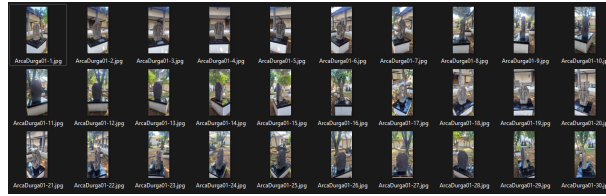


Gambar 4. Perencanaan Pengambilan Foto

Hasil pengambilan foto artefak Arca Durga diambil langsung di lokasi menggunakan kamera *smartphone* dan diperoleh sebanyak 30 foto dan dikelola dalam suatu folder ditunjukkan pada gambar 5.



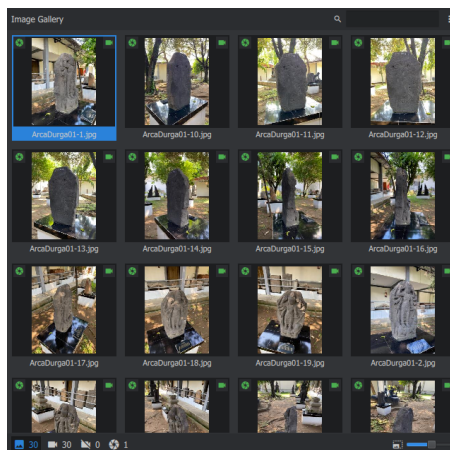
a. Hasil Kamera *iPhone 11*

b. Hasil Kamera *Samsung M53***Gambar 5.** Hasil Pengambilan Foto Artefak Arca Durga

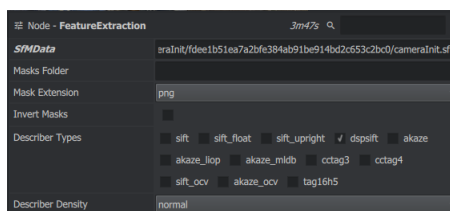
3. Representasi 3D pada *Meshroom*

Setelah semua dataset foto sudah terkumpul, peneliti melakukan pemrosesan dengan model representasi 3D menggunakan *Meshroom*. Pada penelitian ini, *Meshroom* digunakan untuk beberapa tahapan : *import photos, feature extraction, structuring, depth map, meshing* dan *texturing*.

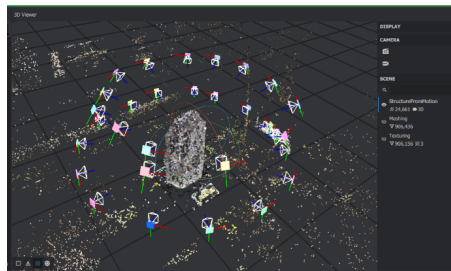
- a. Tahap *import photos* Arca Durga di *Meshroom*: *import* foto Arca Durga dari suatu folder ke dalam panel *Image Gallery* pada *Meshroom*. Setelah foto berhasil masuk di panel *Image Gallery*, kemudian simpan terlebih dahulu dalam ekstensi file *Meshroom Graphs* (*.mg). Selanjutnya klik *Start* untuk memulai proses representasi 3D. Tampilan panel *Image Gallery* pada perangkat lunak *Meshroom* seperti gambar 6.

**Gambar 6.** *Import* Dataset Foto Artefak

- b. Tahap *feature extraction* foto Arca Durga di *Meshroom*: setelah foto dimasukkan dalam perangkat lunak, *Meshroom* akan melakukan fitur ekstraksi untuk menemukan lokasi *relative* dari kamera dengan mendeteksi titik-titik berbeda di setiap gambar yang dapat dijelaskan oleh *property* dari setiap dataset foto. Pada penelitian ini, *dspsift* digunakan sebagai metode fitur ekstraksi [13]. Gambar 7 menunjukkan pengaturan dari tahap fitur ekstraksi di *Meshroom*.

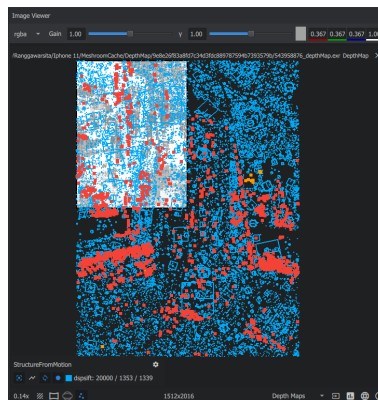
**Gambar 7.** Jenis Fitur Ekstraksi

- c. Tahap *structure from motion* foto Arca Durga di *Meshroom*: hasil ekstraksi selanjutnya akan diproses *Meshroom* untuk memperoleh *point cloud* yang dapat dilihat dari beberapa kamera. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk menyimpulkan struktur titik 3D dengan pose dan kalibrasi internal semua kamera dengan menggunakan *non-linear method bundle adjustment* untuk memperbaiki struktur dan gerak maupun meminimalkan kesalahan proyeksi ulang [14]. Pada gambar 8 ditampilkan jumlah *point cloud* yang dihasilkan pada tahapan ini sebanyak 24.661 *point cloud* dari dataset kamera *iPhone 11*. Jumlah *point cloud* tersebut sudah memberikan gambaran dari model 3D Artefak Arca Durga nantinya.



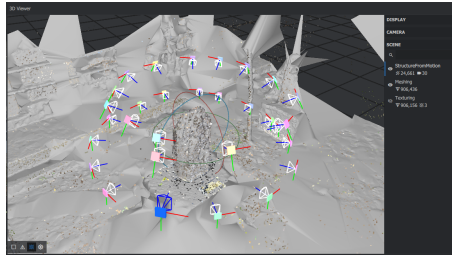
Gambar 8. Tahap *Structure* Artefak

- d. Tahap *depth map* foto Arca Durga di *Meshroom*: dalam tahapan ini hasil *point cloud* yang dihasilkan dari proses sebelumnya, diproses kembali untuk diperkirakan nilai kedalaman pada setiap input piksel. Wilayah tersebut perlu dilihat oleh setidaknya 2 kamera yang telah divalidasi oleh *SfM*. Pada tahap *depth map* ini, diperlukan waktu yang cukup lama dan rentan kegagalan. Berikut tahap *depth map* ditunjukkan seperti pada gambar 9.



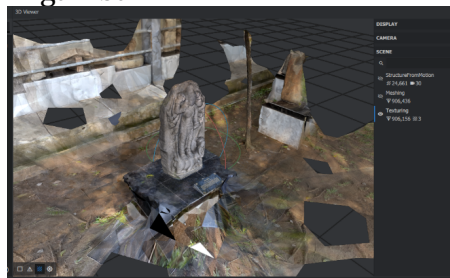
Gambar 9. Tahap *Depth Map* Artefak

- e. Tahap *meshing* foto Arca Durga di *Meshroom* : pada tahapan ini lebih difokuskan untuk memproses *point cloud* disatukan sehingga menghasilkan kemiripan terhadap bentuk objek bersama objek lainnya yang terekam oleh kamera. Berikut bentuk 3D *mesh* dari Arca Durga seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Tahap *Meshing* Artefak

- f. Tahap *texturing* foto Arca Durga di *Meshroom* : tahapan terakhir dalam representasi 3D di *Meshroom* adalah memproyeksikan tekstur ke dalam *mesh*. Pendekatan *UV mapping* diterapkan di *Meshroom*. Bentuk tekstur Artefak Arca Durga ditampilkan dalam gambar 11.



Gambar 11. Tahap *Texturing* Artefak

4. Hasil Pengujian

Peneliti telah melakukan pengujian terhadap metode representasi model 3D yang ditentukan sebelumnya menggunakan beberapa dataset publik dengan kamera berbeda, serta dataset privat yang diambil dengan kamera *smartphone iPhone 11* dan *Samsung M53*.

Tabel 1. Hasil Komputasi *Structure from Motion*

Jenis Kamera	Objek	Jumlah Foto	Point Cloud	Elapsed Time	RMSE
Iphone 11	Arca Durga	30	24.661	8,836	0,8167
Samsung M53	Arca Durga	30	14.351	44,905	2,7432
Canon DIGITAL IXUS 85 IS	Tree Stump	14	39.589	34,247	0.495397
Unknown	Buddha Head	67	82.482	27,337	0,470456

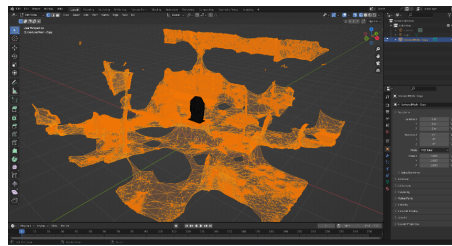
Setiap dataset memiliki jumlah foto yang berbeda dan membutuhkan waktu pemrosesan yang berbeda. Waktu pemrosesan dapat bervariasi menyesuaikan dengan perangkat keras yang digunakan. Peneliti melakukan pengujian pada laptop Legion 5 *Windows 11* dengan spesifikasi perangkat keras *Processor Intel i7*, *RAM 16 GB* dan kartu grafis *Nvidia GeForce RTX 3060* dimana menghasilkan kinerja yang ditampilkan pada tabel 1. Dari pengujian yang telah dilakukan, dihasilkan nilai evaluasi berupa nilai *Root Mean Square Error (RMSE)*.

Tabel 1 menunjukkan data perbandingan pengolahan dataset beberapa objek foto guna untuk menganalisa hasil metode *Structure from Motion* dengan mengambil nilai dari jumlah *Point Cloud*, waktu pemrosesan dan nilai evaluasi berupa *RMSE*. Hasil tingkat evaluasi model 3D artefak Arca Durga menggunakan

kamera *IPhone 11* didapat nilai RMSE sebesar 0,8167 dengan waktu pemrosesan 8,836 dan jumlah *Point Cloud* sebesar 24.661. Sedangkan hasil tingkat evaluasi model 3D artefak Arca Durga dengan menggunakan kamera *Samsung M53* didapat nilai RMSE sebesar 2,7432 dengan waktu pemrosesan 44,905 dan jumlah *Point Cloud* sebesar 14.351. Banyaknya foto dan kompleksitas piksel dari sebuah objek yang diamati pada setiap foto akan memberikan dampak yang signifikan terhadap kinerja pemrosesan.

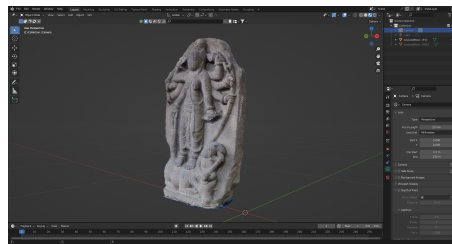
5. Penyempurnaan Model 3D

Pada tahapan ini, file hasil representasi bertipe 3D *Object* (*.obj) dari perangkat lunak *Meshroom* di *import* ke dalam perangkat lunak *Blender 3D*, seperti ditampilkan dalam gambar 12. Pada saat pengambilan dataset foto, objek artefak selalu terfokus di tengah, sehingga hasil *import* model 3D artefak Arca Durga akan membuat objek artefak berada di Tengah diantara objek lainnya yang terekam kamera namun tidak terpakai.



Gambar 12. *Import Model 3D Artefak*

Selanjutnya, dilakukan pemindaian bagian objek yang tidak terpakai pada sekitar artefak Arca. Bagian objek yang tidak terpakai diseleksi dan dilakukan proses penghapusan. Kemudian didapatkan hasil akhir model 3D pada *Blender 3D* seperti yang ditampilkan gambar 13.



Gambar 13. *Hasil Model 3D Artefak Arca Durga*

Perbandingan hasil foto artefak Arca Durga dan hasil pengolahan artefak Arca Durga pada perangkat lunak *Meshroom* dan *Blender 3D* seperti dalam gambar 14 sampai dengan gambar 16.



Gambar 14. Perbandingan Foto dari *IPhone 11* dan Model 3D Arca Durga



Gambar 15. Perbandingan Foto dari *Samsung M53* dan Model 3D Arca Durga



Gambar 16. Perbandingan Model 3D Arca Durga dari hasil foto *IPhone 11* dan *Samsung M53*

Perbandingan hasil foto dari dataset publik dan hasil pengolahan dataset publik pada perangkat lunak Meshroom dan Blender 3D seperti dalam gambar 17 sampai dengan gambar 18.



Gambar 16. Perbandingan Foto Relief dari dataset publik



Gambar 17. Perbandingan Foto *Buddha Head* dari dataset publik

6. Distribusi Model 3D

Hasil yang didapatkan dari *Blender 3D* adalah model 3D yang dapat dimanfaatkan sebagai aset digital untuk berbagai keperluan seperti halnya media edukasi benda bersejarah dalam teknologi *Virtual Reality* (VR) atau *Augmented Reality* (AR). Model 3D dari *Blender 3D* dapat disesuaikan kedalam format file pada perangkat lunak lainnya, salah satunya adalah format file *FilmBox* (*.fbx). Visualisasi objek dari *Blender 3D* yang dihasilkan dalam penelitian ini ditampilkan pada gambar 18.



Gambar 18. Visualisasi Artefak Arca Durga

D. Simpulan

Implementasi penerapan metode yang diusulkan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi fotogrametri dapat secara efisien untuk menghasilkan model 3D benda bersejarah menggunakan kamera *smartphone*.

Hasil evaluasi model 3D artefak Arca Durga menggunakan kamera *iPhone 11* mendapatkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,8167 dengan waktu pemrosesan 8,836. Dibandingkan dengan hasil evaluasi model 3D artefak

Arca Durga dengan menggunakan kamera *Samsung M53* mendapatkan nilai RMSE sebesar 2,7432 dengan waktu pemrosesan 44,905. Artinya, penggunaan *smartphone* dapat digunakan secara kompetitif untuk pengambilan dataset artefak. Selain itu, metode ini juga efektif menghasilkan model 3D dengan tetap mempertahankan bentuk tekstur dari objek aslinya.

E. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Universitas Semarang melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini sesuai dengan nomor kontrak 021/USM.H7.LPPM/L/2024.

F. Referensi

- [1] DISBUDPAR, "Museum Rangawarsita." <https://pariwisata.semarangkota.go.id/frontend/web/index.php?r=site%2Fdaya-tarik-wisata-description&id=70>
- [2] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernández, dan V. Ferreira, "A scan-to-bim methodology applied to heritage buildings," *Heritage*, vol. 3, no. 1, hal. 47–65, 2020, doi: 10.3390/heritage3010004.
- [3] G. Hanbudi dan E. Fauzi, "Rekonstruksi Model 3D dari Set Citra Menggunakan Metode SFM-MVS dan Algoritma Poisson," *J. Media Inform. Budidarma*, vol. 6, no. 3, hal. 1304, 2022, doi: 10.30865/mib.v6i3.4126.
- [4] M. Ihsan dan D. Sugandi, "Pemanfaatan Produk Fotogrametri Digital Untuk Media Pembelajaran," *J. Geogr. Gea*, vol. 19, no. 2, hal. 113–122, 2019, doi: 10.17509/gea.v19i2.19358.
- [5] Y. Cai, M. Cao, L. Li, dan X. Liu, "An End-to-End Approach to Reconstructing 3D Model from Image Set," *IEEE Access*, vol. 8, hal. 193268–193284, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3032169.
- [6] A. Didik Prastyo, S. Subiyanto, dan A. Suprayogi, "Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo," *J. Geod. Undip*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.14710/jgundip.2012.2242.
- [7] G. S. D. Hutahaean, Y. Prasetyo, dan N. Bashit, "Analisis Deformasi Menggunakan Metode Fotogrametri Rentang Dekat Berbasis UAV (Unmanned Aerial Vehicle) (Studi Kasus : Candi Gedong Songo)," *J. Geod. Undip Januari*, vol. 9, no. 1, hal. 187–196, 2020.
- [8] M. . Kholil, I. Ismanto, dan M. N. Fu'ad, "Rekontruksi Model 3D Dari Banyak Gambar Menggunakan Algoritma Structure From Motion (SFM) Dan Multi View Stereo (Mvs) Berbasis Computer Vision," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 3, no. 2, hal. 108–113, 2020, doi: 10.31598/jurnalresistor.v3i2.655.
- [9] M. Mujahid, A. Fidera, dan M. Ihsan, "Pemanfaatan fotogrametri untuk model 3 dimensi dengan visualisasi menggunakan teknologi Augmented Reality (AR)," *Enmap*, vol. 1, no. 2, hal. 67–80, 2020, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.seilergo.com>
- [10] H. Tolle, R. K. Dewi, K. C. Brata, dan B. Perdamean, "Framework for Development of 3D Temple Objects based on Photogrammetry Method," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 13, no. 5, hal. 564–571, 2022, doi: 10.14569/IJACSA.2022.0130566.

- [11] RealityCapture, "RealityCapture Free datasets," *CapturingReality*. <https://www.capturingreality.com/download/files/SmallPlastic>
- [12] S. Gasparini, F. Castan, dan Y. Lanthony, "Buddha Dataset." Januari 2017. doi: 10.5281/zenodo.1203283.
- [13] C. Griwodz dkk., *AliceVision Meshroom: An open-source 3D reconstruction pipeline*, vol. 1, no. 1. Association for Computing Machinery, 2021. doi: 10.1145/3458305.3478443.
- [14] R. Zhang dkk., "Distributed Very Large Scale Bundle Adjustment by Global Camera Consensus," *IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell.*, vol. 42, no. 02, hal. 291–303, Feb 2020, doi: 10.1109/TPAMI.2018.2840719.