

## ARSITEKTUR SISTEM 3D KERATON KESULTANAN TERNATE MENGUNAKAN PHOTOGRAMMETRY STRUCTURE from MOTION BERBASIS VIRTUAL REALITY

### *3D SYSTEM ARCHITECTURE OF THE TERNATE SULTANATE PALACE USING PHOTOGRAMMETRY STRUCTURE FROM MOTION BASED ON VIRTUAL REALITY*

Assaf Arief<sup>1</sup>, Achmad Fuad<sup>2</sup>, Seh Turuy<sup>3</sup>, Syarif N Kapita<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Program Studi Informatika

Universitas Khairun

Email: assaf.arief@unkhair.ac.id

#### **Abstrak**

Keraton Kesultanan Ternate merupakan warisan budaya Maluku Utara yang rentan terhadap kerusakan fisik, sementara dokumentasi konvensional dinilai belum mampu menyajikan representasi bangunan secara menyeluruh dan interaktif. Penelitian ini merancang dokumentasi digital Keraton dalam bentuk model tiga dimensi (3D) menggunakan metode photogrammetry berbasis Structure from Motion (SfM) yang diintegrasikan ke dalam lingkungan Virtual Reality (VR) melalui arsitektur sistem tiga lapisan (Business–Application–Technology). Metodologi mencakup akuisisi citra multi-sudut, pemrosesan SfM (Align Photos, Dense Cloud, Mesh, Texture) menggunakan Agisoft Metashape, optimasi model via Blender, hingga integrasi navigasi imersif berbasis Unity. Hasil rancangan dengan validasi lapangan, menunjukkan bahwa pendekatan ini layak untuk menghasilkan representasi digital Keraton yang akurat, aksesibel, dan edukatif tanpa keterbatasan akses fisik, sekaligus menjadi arsip permanen untuk mendukung pelestarian warisan budaya lokal di era digital.

**Kata Kunci:** *Photogrammetry, Structure from Motion, Model 3D, Virtual Reality, Pelestarian Budaya.*

#### **Abstract**

*The Ternate Sultanate Palace is a cultural heritage of North Maluku that is vulnerable to physical damage, while conventional documentation is considered unable to present a comprehensive and interactive representation of the building. This study designs a digital documentation of the Palace in the form of a three-dimensional (3D) model using a photogrammetry method based on Structure from Motion (SfM) which is integrated into a Virtual Reality (VR) environment through a three-layer system architecture (Business–Application–Technology). The*

*methodology includes multi-angle image acquisition, SfM processing (Align Photos, Dense Cloud, Mesh, Texture) using Agisoft Metashape, model optimization via Blender, and integration of immersive navigation based on Unity. The design results with field validation show that this approach is feasible to produce an accurate, accessible, and educational digital representation of the Palace without physical access limitations, while also becoming a permanent archive to support the preservation of local cultural heritage in the digital era.*

**Keywords: Keywords: Photogrammetry, Structure from Motion, 3D Model, Virtual Reality, Cultural Preservation**

## **PENDAHULUAN**

Keraton Kesultanan Ternate merupakan warisan historis dan arsitektur yang merepresentasikan kejayaan masa lalu serta identitas kultural masyarakat Maluku Utara. Sebagai simbol sentral dalam aspek politik, ekonomi, dan sosial di masa lampau, keberadaannya menyimpan nilai-nilai adat yang diwariskan secara turun-temurun. Namun, urgensi pelestarian muncul seiring meningkatnya risiko kerusakan fisik akibat faktor usia bangunan, pengaruh lingkungan, hingga potensi bencana alam yang dapat mengancam kelestarian struktur aslinya. Upaya dokumentasi tradisional melalui media foto, video, maupun catatan tertulis dinilai belum mampu menyajikan detail bangunan secara menyeluruh (Jiang et al., 2025), sehingga diperlukan sebuah terobosan teknis untuk mengabadikan aset budaya ini dalam format yang lebih permanen dan komprehensif (Muhjudin Insan Karim & Cindy Taurusta, 2025).

Permasalahan utama dalam konservasi digital saat ini adalah

keterbatasan metode konvensional yang gagal memberikan pengalaman visual yang mendalam dan interaktif bagi masyarakat luas, khususnya generasi muda. Rendahnya aksesibilitas fisik dan ketiadaan representasi digital yang akurat menyebabkan pemahaman terhadap nilai arsitektur dan sejarah Keraton menjadi kurang optimal (Chapinal-Heras et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini merumuskan sebuah solusi melalui penerapan teknologi Photogrammetry berbasis Structure from Motion (SfM) (Patrucco et al., 2022). Metode ini memungkinkan konversi data citra dua dimensi menjadi model tiga dimensi (3D) yang realistis, yang kemudian diintegrasikan ke dalam platform Virtual Reality (VR) untuk menghadirkan pengalaman eksplorasi yang imersif seolah berada langsung di lokasi fisik (Arief et al., 2024; Sarhan & Abed, 2021).

Penelitian ini bertujuan mengembangkan pemodelan 3D

Keraton Kesultanan Ternate sebagai dokumentasi digital yang berfungsi sekaligus sebagai arsip permanen dan media pembelajaran interaktif edukatif, dengan menjawab tantangan teknis perancangan model 3D akurat berbasis algoritma SfM hingga integrasinya ke lingkungan Virtual Reality. Kontribusi utama penelitian ini adalah inovasi metodologis dalam pendokumentasian warisan budaya Maluku Utara yang selama ini terbatas pada media statis, sekaligus membuktikan bahwa pemodelan 3D dan VR dapat diimplementasikan secara efektif dengan sumber daya yang umum sebagai referensi bagi instansi terkait di era digital

## LANDASAN TEORI

Landasan utama dalam penelitian ini adalah teknologi photogrammetry, yang secara definitif merupakan teknik pengukuran dan pemodelan objek fisik melalui analisis citra yang diambil dari berbagai sudut pandang. Bidang ilmu ini berfokus pada perolehan informasi geometrik objek dan lingkungan melalui proses perekaman serta interpretasi citra fotografi (Chapinal-Heras et al., 2024). Dalam era digital, teknologi ini bertransformasi menjadi sarana rekonstruksi bentuk tiga dimensi (3D) dari sekumpulan foto dua dimensi (2D). Keunggulan utamanya terletak pada kemampuan menghasilkan model yang presisi dan detail tanpa memerlukan kontak fisik

langsung, sehingga sangat ideal untuk diaplikasikan dalam bidang arkeologi, pemetaan, dan pelestarian cagar budaya. Salah satu pendekatan paling efektif dalam photogrammetry digital adalah Structure from Motion (SfM) (Guruh Pratomo & Eka Rana Mulyono, 2018). SfM bekerja dengan mendeteksi titik-titik fitur pada sekumpulan gambar, mencocokkannya, lalu mengalkulasi posisi relatif kamera serta struktur 3D objek berdasarkan pergerakan (motion) tersebut (Zaman et al., 2024).

Metode Structure from Motion (SfM) bekerja secara sistematis melalui ekstraksi fitur menggunakan algoritma SIFT atau SURF, pencocokan fitur antar-gambar, dan rekonstruksi posisi kamera via triangulasi hingga menghasilkan *dense reconstruction* model 3D padat. Model 3D yang terbentuk merepresentasikan objek dalam ruang koordinat kartesian ( $x, y, z$ ) dan memungkinkan pengguna melakukan rotasi, zoom, serta eksplorasi visual secara komprehensif, yang kemudian mencapai potensi maksimalnya ketika diintegrasikan dengan Virtual Reality (VR) untuk menciptakan pengalaman imersif tanpa kehadiran fisik di Lokasi (Lo Bosco et al., 2023).

Sinergi antara photogrammetry dan VR terbukti krusial dalam dokumentasi digital warisan budaya, karena memungkinkan rekonstruksi virtual situs bersejarah yang rentan terhadap degradasi fisik sehingga masyarakat tetap dapat mengaksesnya secara luas [2026\_3D reconstruction of cultural heritage sites] [2025\_A bibliometric insight into immersive]. Berbagai penelitian terdahulu pada objek bersejarah di Indonesia membuktikan bahwa pendekatan SfM dan VR tidak hanya efisien dari sisi biaya, tetapi juga efektif meningkatkan minat dan pemahaman publik terhadap sejarah melalui media yang inovatif (Guruh Pratomo & Eka Rana Mulyono, 2018; Zaman et al., 2024)

## METODE PENELITIAN

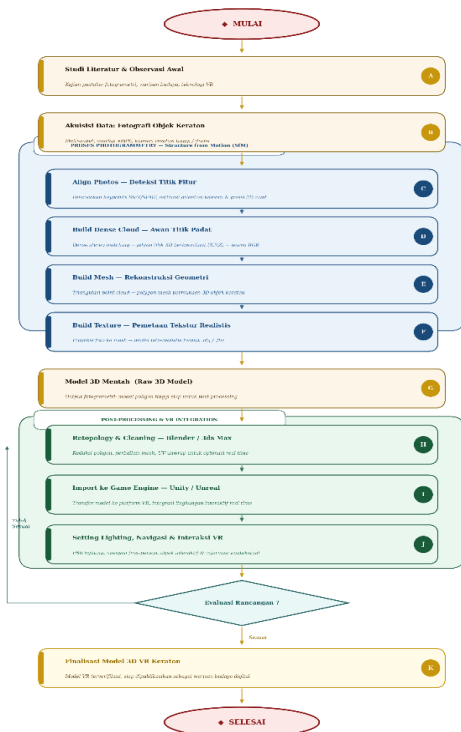
Penelitian ini menerapkan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode *design research* pendekatan eksperimental pengembangan model rekonstruksi 3D berbasis photogrammetry menggunakan metode Structure from Motion (SfM) yang berfokus pada pengembangan artefak digital berupa model 3D Keraton Kesultanan Ternate menggunakan teknik photogrammetry berbasis Structure from Motion (SfM) (Patrucco et al., 2022), Metode SfM dipilih karena mampu menghasilkan rekonstruksi 3D yang akurat dari citra multi-sudut tanpa memerlukan perangkat pemindaian khusus,

Perangkat keras yang digunakan meliputi kamera DSLR/Mirrorless untuk akuisisi citra resolusi tinggi, sedangkan perangkat lunak mencakup Agisoft Metashape untuk pemrosesan fotogrametri, Blender untuk optimasi mesh dan tekstur, serta Unity sebagai platform integrasi Virtual Reality (VR) (Chapinal-Heras et al., 2024; Sarhan & Abed, 2021).

Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur dan observasi lapangan, dilanjutkan dengan akuisisi foto dari berbagai sudut dengan *overlap* tinggi, kemudian diproses melalui alur *Align Photos* → *Dense Cloud* → *Mesh* → *Build Texture* untuk menghasilkan model 3D yang mendekati skala dan detail asli bangunan (Condorelli & Morena, 2023; Guruh Pratomo & Eka Rana Mulyono, 2018). Pada fase akhir, model 3D diintegrasikan ke lingkungan VR dengan pengaturan navigasi *first-person*, tata cahaya virtual, dan interaksi pengguna, sehingga menghasilkan prototipe dokumentasi digital yang berfungsi sebagai instrumen edukasi sejarah sekaligus platform promosi wisata budaya Ternate (Muhjudin Insan Karim & Cindy Taurusta, 2025; Tukhboeva, 2023).

Secara keseluruhan, alur metodologi penelitian ini dapat divisualisasikan melalui diagram alir pada Gambar 1, yang

menunjukkan tahapan sistematis dari Studi Literatur dan Observasi Awal (A) hingga Finalisasi Model 3D VR Keraton (K). Diagram tersebut mencakup dua fase utama, yaitu fase *photogrammetry pipeline* (B–G) yang meliputi akuisisi data citra, Align Photos, Dense Cloud, Mesh, Texture, hingga terbentuknya Raw 3D Model, serta fase *Post-Processing & VR Integration* (H–J) yang meliputi *retopology*, *import* ke game engine Unity/Unreal, dan pengaturan *lighting*, navigasi, serta interaksi VR, dengan iterasi evaluasi rancangan sebelum model dinyatakan final



Gambar 1. Flowchart Arsitektur 3D dan Integrasi VR Keraton Kesultanan Ternate

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil wawancara dengan Kemalahasere Narasumber adat, kunjungan wisatawan ke Keraton Kesultanan Ternate berlangsung rutin namun dengan jumlah yang tidak tetap, umumnya lebih dari 10 orang per minggu. Pengunjung didominasi siswa dan mahasiswa, disusul wisatawan dan tamu instansi, dengan asal utama dari Kota Ternate dan sebagian dari wilayah Maluku Utara lain. Kunjungan biasanya dilakukan pada hari kerja, pagi hingga sekitar pukul 14.00, sedangkan sore hari dibatasi karena agenda ritual keraton. Fokus utama pengunjung adalah mengamati arsitektur, ubin, dan corak khas keraton serta mempelajari sejarah dan budaya Ternate. Pola kunjungan yang bergantung pada jadwal dan ruang fisik ini menegaskan perlunya dokumentasi digital berbasis model 3D dan Virtual Reality sebagai akses alternatif yang lebih fleksibel dan berkelanjutan.

Tabel 1. Hasil Kunjungan ke Keraton Kesultanan Ternate

Aspek	Ringkasan Temuan
Frekuensi	>10 pengunjung per minggu, jumlah harian tidak tetap
Jenis pengunjung	Siswa (TK–SMA), mahasiswa, wisatawan, tamu instansi
Asal pengunjung	Utama: Kota Ternate; tambahan: Halteng, Sofifi, Jailolo dan wilayah sekitar
Waktu kunjungan	Hari kerja, pagi–sekitar 14.00; sore hari sering dibatasi karena ritual

Tujuan kunjungan	Mengamati arsitektur, ubin dan corak, studi budaya dan sejarah
------------------	--

Sumber: Data olahan.

Adapun hasil dokumentasi kedaton kesultanan Ternate yang akan di racang dengan model 3D, Gaambar berikut.



Gambar 2. Tampak Samping Depan Kadaton Ternate

Gambar 2, menunjukkan tampak luar Keraton Kesultanan Ternate yang menjadi objek utama pemodelan 3D, terutama pada bentuk atap, fasad, dan proporsi bangunan yang akan direkonstruksi menggunakan photogrammetry SfM.



Gambar 3. Ruang Singgasana Keraton

### Rancangan Visual dan Alur Pemodelan 3D Keraton

Desain pemodelan 3D Keraton Kesultanan Ternate disusun berdasarkan dokumentasi visual yang

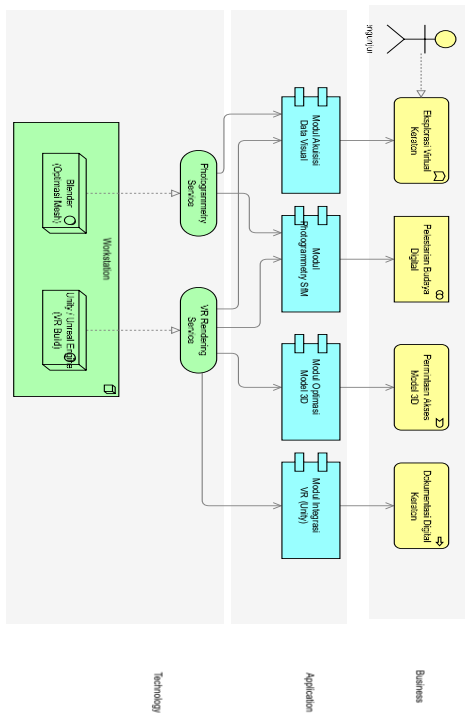
tersedia dan kebutuhan pelestarian budaya yang teridentifikasi dari hasil kunjungan lapangan. Tampak luar keraton (Gambar 4.1) menjadi acuan utama untuk merekonstruksi bentuk atap, fasad, dan proporsi bangunan, sehingga geometri model 3D dapat mendekati kondisi asli. Ruang singgasana (Gambar 4.2) diposisikan sebagai representasi interior kunci yang akan dimodelkan, agar pengguna kelak dapat mengeksplorasi elemen penting seperti takhta, payung kerajaan, dan suasana ruang resmi secara virtual.

Berdasarkan landasan teori dan metode pada Bab III, alur pemodelan 3D dirancang menggunakan pendekatan photogrammetry SfM. Secara konseptual, pemodelan dimulai dari pengumpulan foto keraton dari berbagai sudut dengan overlap memadai, dilanjutkan dengan pemrosesan bertahap (align photos, dense point cloud, mesh, dan texture) hingga menghasilkan model 3D yang siap dioptimasi. Model yang telah dibersihkan dan diringankan kemudian direncanakan untuk diintegrasikan ke lingkungan Virtual Reality menggunakan Unity, dengan penyesuaian skala, pencahayaan, dan skema navigasi first-person agar sesuai dengan karakter kunjungan dan kebutuhan

edukasi yang telah diidentifikasi pada subbab sebelumnya

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, pendekatan ini memiliki keunggulan dalam integrasi langsung ke lingkungan Virtual Reality, sehingga memberikan pengalaman visual yang lebih imersif

Gambar 3, memperlihatkan ruang singgasana sebagai interior representatif yang direncanakan masuk ke dalam model 3D, sehingga pengguna VR dapat mengeksplorasi elemen penting seperti takhta, payung kerajaan, dan artefak simbolik lainnya secara virtual



Gambar 4. Arsitektur 3D Keraton Kesultanan Ternate menggunakan SfM.

Arsitektur sistem dokumentasi digital Keraton Ternate dirancang

dalam tiga lapisan terintegrasi. Lapisan Business mencakup eksplorasi virtual dan dokumentasi budaya digital oleh pengunjung. Lapisan Application terdiri dari empat modul inti berbasis photogrammetry SfM dan VR Unity. Lapisan Technology menopang seluruh proses melalui Workstation, Blender, dan Unity Engine sebagai infrastruktur eksekusi utama.

Hasil rekonstruksi menunjukkan bahwa metode SfM mampu menghasilkan model 3D dengan detail yang tinggi, terutama pada bagian fasad dan struktur utama bangunan. Hal ini dipengaruhi oleh kualitas dan jumlah citra yang digunakan dalam proses rekonstruksi

## KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan dokumentasi digital Keraton Kesultanan Ternate berbasis photogrammetry Structure from Motion (SfM) yang diintegrasikan ke dalam lingkungan Virtual Reality menggunakan Unity. Berdasarkan data kunjungan lapangan, analisis visual bangunan, dan perancangan arsitektur sistem tiga lapisan (Business–Application–Technology), pendekatan ini terbukti layak sebagai solusi pelestarian budaya digital yang efisien, aksesibel, dan edukatif bagi

masyarakat luas tanpa batasan akses fisik ke lokasi Keraton.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi metode SfM dengan arsitektur sistem berbasis Virtual Reality dalam konteks pelestarian warisan budaya lokal, yang belum banyak dikaji sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini memberikan alternatif solusi dalam mendukung transformasi digital pelestarian budaya di era modern

#### SARAN

Penelitian lanjutan disarankan melakukan pengambilan foto langsung di lokasi Keraton guna mengoptimalkan kualitas data citra untuk proses SfM, menambahkan jumlah dan variasi sudut pengambilan citra sekaligus mengembangkan aplikasi VR dengan fitur interaktif seperti narasi audio, pop-up informasi benda pusaka, dan mode pembelajaran bagi pelajar dan wisatawan. Kolaborasi lintas disiplin antara peneliti informatika, sejarawan, dan desainer grafis diperlukan untuk memastikan akurasi historis model, serta publikasi model 3D melalui platform terbuka agar dapat dimanfaatkan secara luas sebagai media promosi wisata budaya Ternate.

#### DAFTAR PUSTAKA

Arief, A., Nurani, R. D., & Kapita, S. N. (2024). *Design And Build A Hijaiah Letter Recognition*

*Application For Early Children Using The Markerless Method Based Augmented Reality.* 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICIC60109.2023.10382003>

Chapinal-Heras, D., Carlos, D. S., Natalia, G. G., Sergio, E. C., Lucía, P. S., Manuel, P. L. de C., & Manuel Elías, R. Á. Z. (2024). *Photogrammetry, 3D modelling and printing: The creation of a collection of archaeological and epigraphical materials at the university.* Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 33. <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00341>

Condorelli, F., & Morena, S. (2023). *Integration of 3D modelling with photogrammetry applied on historical images for cultural heritage.* Vitruvio, 8, 58–69. <https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2023.18831>

Guruh Pratomo, D., & Eka Rana Mulyono, Y. (2018). *Rekonstruksi Model 3d Candi Jawi Dengan Metode Structure From Motion (Sfm) Foto Udara.*

Jiang, L., Li, J., Wider, W., Tanucan, J. C. M., Lobo, J., Fauzi, M. A., Hidayat, H., & Zou, R. (2025). *A bibliometric*

- insight into immersive technologies for cultural heritage preservation.* In npj Heritage Science (Vol. 13, Number 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1038/s40494-025-01704-z>
- Lo Bosco, G., Farella, M., & Di Piazza, G. (2023). *Immersive Virtual Reality for Cultural Heritage Exploration.* In Mem. S.A.It (Vol. 94). <https://www.khronos.org/openx/>
- Muhjudin Insan Karim, & Cindy Taurusta. (2025). *Implementasi Virtual Reality Pada Bangunan Sejarah Se-Malang Raya Berbasis Mobile.* Jurnal Komunikasi Bisnis Dan Teknologi Digital, 1(1), 11. <https://doi.org/10.47134/jkbt.d.v1i1.262>
- Patrucco, G., Giulio Tonolo, F., Sammartano, G., & Spanò, A. (2022). *Sfm-Based 3d Reconstruction Of Heritage Assets Using Uav Thermal Images.* International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 43(B1-2022), 399–406. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-399-2022>
- Sarhan, H. R., & Abed, F. M. (2021). *The Feasibility of Using UAV Structure from Motion Photogrammetry to Extract HBIM of the Great Ziggurat of UR.* Iraqi Journal of Science, 62(11), 4518–4528. [https://doi.org/10.24996/ij.s.2021.62.11\(SI\).31](https://doi.org/10.24996/ij.s.2021.62.11(SI).31)
- Tukhboeva, N. (2023). *Cultural Heritage Reconstruction using Virtual and Augmented Reality.* 179–183.
- Zaman, B., Rachmawati, E. P., & Asmiatun, S. (2024). *Attribution-ShareAlike 4.0 International License 8070 Representasi Model 3D Artefak Menggunakan Metode Structure From Motion Berbasis Fotogrametri Di Museum Ranggawarsita Semarang.* 13(5). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i5.4182>