Fotogrametri Dalam Pendokumentasian CagarBudaya

Elta Sonalitha[1], Subairi[2], Dyah Setyawati[3] , Rahman Arifuddin[4]
Universitas Merdeka Malang
e-mail: elta.sonalitha@unmer.ac.id , subairi@unmer.ac.id, dyah.setya@unmer.ac.id rahman.arifuddin@unmer.ac.id

ABSTRACT

Photogrammetry, as a documentation technique utilizing photographic images to generate accurate information about objects, has significantly advanced with the development of digital technology. In the context of cultural heritage preservation, digital photogrammetry offers substantial benefits. The partner of this community service activity is an art association consistently dedicated to cultural preservation, known as Bawarasa Pametri Budaya. Through the creation of accurate 3D maps, photogrammetry allows for object visualization from various perspectives and detailed documentation of the physical condition of objects. This is highly useful in historical analysis, restoration, and conservation planning. Additionally, photogrammetry facilitates the mapping of large and complex archaeological sites and supports cross-disciplinary collaboration by providing remotely accessible data. The use of 3D models in educational programs and public awareness campaigns further expands the positive impact of this technology, providing virtual access to historical sites and promoting digital preservation. Photogrammetry technology also plays a crucial role in addressing damage from natural disasters by providing precise data for restoration and recovery. Meanwhile, the image editing process, including image capture, calibration, feature matching, and 3D reconstruction, ensures the quality and accuracy of documentation. The conclusions from this ABDIMAS program highlight a significant positive impact in enhancing community knowledge, skills, and living conditions, as well as demonstrating the effectiveness of the approach used in the program's implementation. The main outcomes of this community service activity are photogrammetry images of cultural heritage sites uploaded to the web and a photogrammetry manual book. These results underscore the importance of modern technology and documentation methods in the preservation and development of cultural heritage.

Kata kunci: *Heritage, Image Editing, Photogrammetry, 3D Maps, Technology*

ABSTRAK

Fotogrametri, sebagai teknik dokumentasi yang memanfaatkan citra fotografi untuk menghasilkan informasi akurat tentang objek, telah mengalami kemajuan signifikan dengan perkembangan teknologi digital. Dalam konteks pelestarian cagar budaya, teknologi fotogrametri digital menawarkan berbagai manfaat yang substansial. Mitra kegiatan Pengabdian ini adalah sebuah perkumpulan seni yang konsisten menjadi pemerhati budaya dengan nama Bawarasa Pametri Budaya. Melalui pembuatan peta 3D yang akurat, fotogrametri memungkinkan visualisasi objek dari berbagai sudut pandang dan mendokumentasikan kondisi fisik objek secara mendetail. Ini sangat berguna dalam analisis historis, restorasi, dan perencanaan konservasi. Selain itu, fotogrametri juga mempermudah pemetaan situs arkeologi yang luas dan kompleks, serta mendukung kolaborasi lintas disiplin dengan menyediakan data yang dapat diakses dari jarak jauh. Penggunaan model 3D dalam program edukasi dan peningkatan kesadaran publik semakin memperluas dampak positif dari teknologi ini, memberikan akses virtual ke situs bersejarah dan mendukung pelestarian digital. Teknologi fotogrametri juga memainkan peran krusial dalam penanganan kerusakan akibat bencana alam dengan menyediakan data presisi untuk restorasi dan pemulihan. Sementara itu, proses editing citra, termasuk pengambilan gambar, kalibrasi, pencocokan fitur, dan rekonstruksi 3D, memastikan kualitas dan akurasi dokumentasi. Kesimpulan dari program ABDIMAS menunjukkan dampak positif yang signifikan dalam meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kondisi hidup masyarakat, serta menunjukkan efektivitas pendekatan yang digunakan dalam pelaksanaan program. Hasil utama dari kegiatan pengabdian ini adalah gambar fotogrametri dari cagar budaya yang dimasukkan ke dalam web serta manual book fotogrametri. Hasil ini menggarisbawahi pentingnya teknologi dan metode dokumentasi modern dalam pelestarian dan pengembangan cagar budaya.

Kata kunci: Cagar Budaya, Editing Citra, Fotogrametri, Peta 3D, Teknologi,

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah mengalami akselerasi yang luar biasa dalam beberapa dekade terakhir, menjadikan banyak inovasi yang dulunya hanya terlihat dalam film fiksi ilmiah kini menjadi bagian dari kehidupan sehari-hari. Salah satu inovasi tersebut adalah fotografi digital, yang secara signifikan mengubah cara orang menangkap dan menyimpan momen. Sebelum era digital, orang hanya bisa mengabadikan gambar dengan kamera analog yang membutuhkan film dan proses pencetakan yang memakan waktu. Namun, dengan kemajuan teknologi kamera digital, semua itu berubah menjadi lebih cepat, praktis, dan efisien. Inovasi ini membawa fotografi ke tangan masyarakat luas, memungkinkan siapa pun untuk mengabadikan gambar kapan saja dan di mana saja dengan perangkat yang mudah diakses[1].

Menurut Todd Gustavson dalam bukunya Camera: A History of Photography from Daguerreotype to Digital (2009), sejarah fotografi mencatat transformasi luar biasa dari metode tradisional hingga ke era digital saat ini. Gustavson menyoroti bagaimana teknologi fotografi telah berkembang dari daguerreotype—teknik fotografi pertama yang dikembangkan pada awal abad ke-19—hingga berbagai inovasi yang kita nikmati saat ini. Inovasi kamera digital tidak hanya mengubah cara kita memotret, tetapi juga mempengaruhi cara kita berbagi, menyimpan, dan mengedit gambar secara digital. Dalam bukunya, Gustavson juga menekankan peran penting teknologi dalam membentuk budaya visual modern yang penuh dengan dokumentasi instan dan berbagi gambar dalam skala global. Dengan demikian, fotografi digital tidak hanya merupakan kemajuan teknologi, tetapi juga perubahan sosial yang mendalam dalam cara kita melihat dan berinteraksi dengan dunia di sekitar kita.

Fotogrametri adalah salah satu bidang yang mengalami perkembangan signifikan berkat kemajuan teknologi fotografi digital. Disiplin ini menggabungkan seni, ilmu pengetahuan, dan teknologi untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai objek fisik serta lingkungan di sekitar kita. Dalam praktiknya, fotogrametri memanfaatkan gambar fotografi serta pola radiasi elektromagnetik yang terekam untuk melakukan pengukuran dan interpretasi data. Kehadiran teknologi digital telah mempermudah dan mempercepat proses fotogrametri, yang sebelumnya dilakukan secara manual dan memakan waktu lebih lama dengan metode analog. Kini, data dapat dikumpulkan dan dianalisis secara otomatis, membuat fotogrametri semakin efisien dan dapat diakses oleh berbagai kalangan[2].

Aplikasi fotogrametri mencakup berbagai bidang, mulai dari pemetaan, arkeologi, hingga industri konstruksi[3]. Salah satu aplikasi paling umum dari fotogrametri adalah pemetaan topografi, di mana data citra udara atau satelit digunakan untuk membuat peta yang detail dan akurat mengenai bentuk permukaan bumi. Selain itu, dalam bidang arkeologi, fotogrametri memungkinkan dokumentasi situs dan artefak dalam bentuk digital 3D, sehingga mengurangi risiko kerusakan fisik pada artefak berharga[4]. Fotogrametri juga memainkan peran penting dalam arsitektur dan konservasi bangunan, terutama dalam pelestarian bangunan bersejarah. Model 3D yang dihasilkan dapat digunakan untuk pemantauan perubahan struktural atau perencanaan restorasi. Lebih jauh, fotogrametri digunakan dalam pemantauan lingkungan untuk mengukur perubahan lanskap, seperti erosi dan deforestasi, serta dalam industri konstruksi untuk memantau kemajuan proyek secara real-time. Dalam dunia hiburan, teknik ini bahkan digunakan untuk menciptakan model 3D yang realistis dalam film dan video game, memperkaya pengalaman visual dan interaktif secara signifikan.

BAWARASA Pametri Budaya adalah sebuah perkumpulan seni yang berdedikasi untuk melestarikan, mempromosikan, dan merayakan kekayaan tradisi, seni, serta budaya Jawa. Berakar kuat pada warisan budaya Jawa yang kaya, BAWARASA berperan sebagai pemerhati budaya, berupaya menjaga adat istiadat, seni, serta cerita rakyat yang diwariskan dari generasi ke generasi. Mereka bekerja sama dengan komunitas lokal, sejarawan, dan pakar budaya untuk mendokumentasikan dan melestarikan praktik tradisional, ritual, dan kisah-kisah budaya, sehingga warisan tersebut tetap hidup dan dapat dipelajari oleh generasi mendatang. Namun, BAWARASA

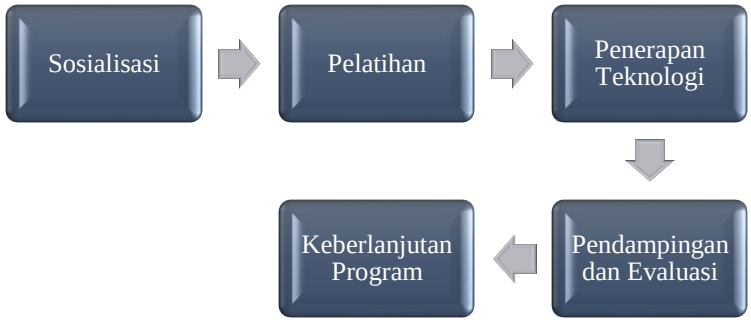
menghadapi dua kendala utama dalam upaya pelestarian cagar budaya, khususnya terkait penggunaan fotogrametri. Pertama, tidak adanya sistem manajemen pendataan benda-benda cagar budaya yang mampu menjadi bank data dan pengetahuan yang bisa diakses oleh masyarakat. Kedua, mereka kesulitan dalam pembuatan antarmuka (interface) untuk mereorganisasi dan menyajikan data kekayaan benda-benda cagar budaya sebagai bagian dari upaya pemajuan budaya.

Melihat permasalahan ini, tim pengabdi kami merasa perlu melakukan kegiatan pengabdian masyarakat dengan memanfaatkan teknologi fotogrametri. Kami bertujuan untuk mendokumentasikan benda-benda cagar budaya dengan menghasilkan model 3D yang akurat, yang nantinya dapat disimpan dan diakses secara digital. Pendekatan ini akan membantu BAWARASA dalam membangun sistem manajemen data yang andal sekaligus memfasilitasi pengembangan antarmuka untuk mengatur dan menampilkan informasi tersebut.

METODE

Amanat Undang-Undang Cagar Budaya No. 11 Tahun 2010 tentang upaya pelestarian, pengembangan dan pemanfaatan cagar budaya yang mesti memberikan dampak nilai tambah bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat mesti terus diupayakan[5]. Dengan menyandarkan pada amanat undang-undang tersebut tim berencana membuat program digital cagar budaya yang dalam satu kegiatan dapat menyentuh ketiga aspek tersebut. Pemilihan benda cagar budaya di Malang Raya semata dalam pertimbangan tingginya nilai penting cagar budaya yang berpotensi peringkat Nasional dan efisiensi pembiayaan. Output dari kegiatan ini nantinya juga dapat direplikasi pada objek cagar budaya lain. Kami berkeyakinan bahwa kegiatan ini akan memberikan outcome yang besar bagi masyarakat seputar cagar budaya maupun sarana pembelajaran dunia pendidikan.

Program pengabdian ini mencakup sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan, evaluasi, serta keberlanjutan guna memastikan teknologi fotogrametri dapat diintegrasikan secara efektif dan berkelanjutan dalam pelestarian cagar budaya oleh mitra BAWARASA Pametri Budaya.



Gambar 1. Metode Pelaksanaan kegiata pengabdian.

Berikut penjelasan mengenai metodepelaksaan dalam program ini : sosialisasi, pelatihan, penerapan teknologi, pendampingan, dan evaluasi, serta keberlanjutan.

1) Sosialisasi, Penyusunan rencana kerja dimatangkan sebelum sosialisasi yang mencakup tujuan, ruang lingkup, sumber daya yang dibutuhkan, serta jadwal pelaksanaan digitalisasi cagar budaya. Rencana kerja ini mempertimbangkan kebutuhan mitra pelaksana, termasuk aspek teknis, finansial, dan administratif. Sosialisasi dalam konteks digitalisasi cagar budaya penting untuk memperkenalkan konsep, tujuan, dan manfaat dari penggunaan teknologi dalam pelestarian dan dokumentasi cagar budaya. Ini melibatkan berbagai pihak terkait

seperti pemerintah daerah, ahli waris budaya, komunitas lokal, dan masyarakat umum untuk membangun pemahaman dan dukungan.

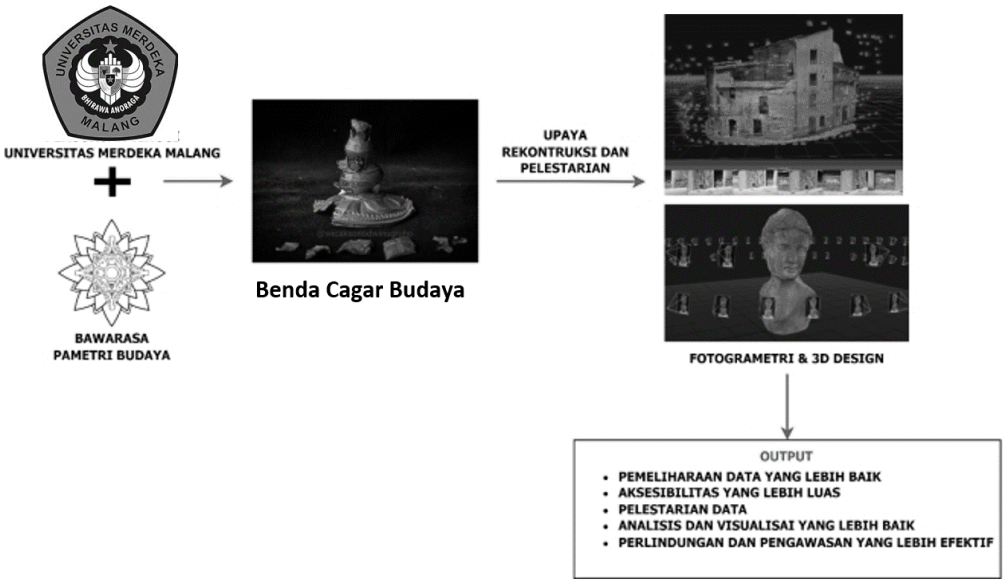
2) Pelatihan adalah langkah penting untuk mempersiapkan orang-orang yang akan terlibat dalam digitalisasi cagar budaya. Pelatihan ini mencakup pengenalan terhadap teknologi yang digunakan, prosedur pengambilan gambar atau dokumentasi digital, pemeliharaan data, serta pengelolaan informasi cagar budaya secara digital. Pelatihan termasuk identifikasi dan dokumentasi cagar budaya yang akan didigitalisasi. Pelatihan yang dilaksanakan antara lain, pelatihan fotogrametri, pelatihan penggunaan alat teknologi, pelatihan editing citra, pelatihan antarmuka digitalisasi cagar budaya.
3) Penerapan Teknologi dalam digitalisasi cagar budaya meliputi pemetaan lokasi, pengumpulan data sejarah dan informasi budaya, serta pengumpulan materi visual seperti foto, video, atau pemindaian 3D sesuai kebutuhan. penggunaan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk mengambil gambar, merekam data, dan mengelola informasi mengenai cagar budaya secara digital. Ini bisa termasuk penggunaan drone untuk pemetaan udara, pemindaian 3D untuk artefak atau benda, serta platform digital untuk menyimpan dan membagikan data. Pengolahan dan manajemen data digital termasuk dalam tahapan penting. Ini meliputi pengolahan gambar, pemrosesan data pemindaian 3D, serta penyimpanan dan pengelolaan data platform digital.
4) Pendampingan dan Evaluasi, setelah teknologi diterapkan, penting untuk memberikan pendampingan kepada mereka yang bertanggung jawab dalam pengelolaan dan penggunaan teknologi tersebut. Evaluasi dilakukan secara berkala untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi digitalisasi, serta untuk mengidentifikasi area-area yang perlu perbaikan atau peningkatan. Melakukan pengujian terhadap hasil digitalisasi untuk memastikan akurasi dan kualitasnya. Evaluasi dilakukan untuk mengevaluasi keberhasilan pencapaian tujuan digitalisasi serta untuk mengidentifikasi area-area yang perlu perbaikan atau peningkatan.
5) Keberlanjutan Program, untuk memastikan keberlanjutan digitalisasi cagar budaya, perlu dikembangkan strategi jangka panjang. Ini mencakup perencanaan pemeliharaan perangkat keras dan perangkat lunak, pelatihan berkelanjutan untuk mitra yang terlibat, integrasi data digital ke dalam sistem informasi budaya nasional atau lokal, serta strategi komunikasi untuk meningkatkan kesadaran dan dukungan masyarakat terhadap pelestarian cagar budaya melalui teknologi.

Alur Pelaksanaan Kegiatan Digitalisasi Benda-benda Cagar Budaya

Dalam pelaksanan kegiatan ini, ada 2 tahap penting yang kami jalankan, pertama tahap pendataan, kami akan melakukan identifikasi dan pencatatan objek-objek cagar budaya yang akan didokumentasikan, memastikan bahwa semua informasi relevan terkumpul secara sistematis. Kedua, setelah proses pendataan selesai, kami akan melanjutkan ke tahap pengambilan gambar, di mana teknik fotografi yang tepat akan digunakan untuk menangkap setiap detail objek, memastikan kualitas dan ketajaman gambar agar dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut dan menghasilkan representasi visual yang akurat.

1) Pendataan

Pendataan digital tentang kekayaan temuan benda-benda cagar budaya memiliki beberapa lebih baik Pendataan digital memungkinkan informasi yang lebih lengkap dan akurat tentang temuan-temuan cagar budaya[6]. Ini membantu dalam pemeliharaan data yang lebih baik daripada metode manual, (2) Aksesibilitas yang Lebih Luas: Data digital dapat diakses dari mana saja dengan koneksi internet. Hal ini memungkinkan para peneliti, arkeolog, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mengakses informasi dengan lebih mudah,



Gambar 2. Proses Fotogrametri Benda-benda Cagar Budaya.

(3) Pelestarian Data: Data digital dapat dengan mudah disalin dan disimpan di berbagai lokasi, sehingga mengurangi risiko kehilangan informasi akibat kerusakan atau bencana alam. (4) Analisis dan Visualisasi yang Lebih Baik: Data digital dapat diolah dengan lebih baik untuk analisis dan visualisasi. Hal ini dapat membantu dalam memahami pola-pola tertentu atau hubungan antara temuan-temuan cagar budaya, (5) Perlindungan dan Pengawasan yang Lebih Efektif: Data digital memungkinkan pemerintah dan lembaga terkait untuk melakukan pengawasan dan perlindungan terhadap benda-benda cagar budaya dengan lebih efektif, termasuk mencegah perdagangan ilegal, (6) Pendataan digital ini membutuhkan upaya kolaboratif dari berbagai pihak, termasuk pemerintah, lembaga pendidikan, dan masyarakat umum, untuk mencapai manfaatnya secara maksimal.

1) Pengambilan gambar

Pengambilan gambar 2D (Dua Dimensi) dilakukan sebanyak mungkin untuk memberikan hasil fotogrametri yang detail dari sebuah benda Cagar Budaya. Berikut contoh dua benda Cagar Budaya yang sudah diproses fotogrametri.



(a) (b) (c)

Gambar . a) Sisi A, b) Sisi B, c) Sisi C

Sumber : dokumen pribadi redaksi

Gambar 2 adalah Dwarapala (Dewanagari: द्वारपाल; IAST: Dvārapāla; arti: "penjaga pintu") adalah sosok penjaga pintu dalam ajaran Hindu dan Buddha. terbuat dari batu andesit utuh

setinggi 3,7 meter tebalnya 1,98 meter dan lebarnya 2,25 meter. arca Dwarapala yang berada di utara menghadap ke timur. dari masa kerajaan singosari. Benda berada pada koordinat -7.886977, 112.662076



(a) (b) (c)

Gambar 3. a), Sisi A b) Sisi B, c) Sisi C.

Sumber : dokumen pribadi redaksi

Gambar 3 adalah Arca Brahma Catur Muka. Arca ini ditemukan di salah satu Percandian Singosari dari masa kerajaan singosari circa 1222–1292. lokasi saat ini di museum mpu purwa. Dewa Brahma digambarkan sebagai sosok dewa dengan empat muka yang menghadap ke empat penjuru arah mata angin (Caturmukha Brahma) yang melambangkan kekuasaan terhadap Catur Weda, Catur Yuga (empat siklus waktu), Catur Warna (empat pembagian masyarakat berdasarkan keterampilan). Dia dilukiskan sebagai seorang pria tua dengan janggut putih yang memiliki makna leluhur dari seluruh jagat raya, memiliki empat tangan yang memegang alat-alat seperti: Aksamala/tasbih: simbol tiada awal dan tiada akhir. Sruk (sendok besar), dan Surva(sendok biasa) simbol dari upacara yadnya. Kamandalu/kendi simbol dari keabadian. Pustaka yang merupakan simbol dari Ilmu Pengetahuan. Koordinat benda cagar budaya -7.9400342,112.6202258 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Cara Kerja Fotogrametri

Fotogrametri adalah teknik pengukuran yang memanfaatkan serangkaian gambar yang diambil dari berbagai sudut pandang untuk menganalisis dan mengukur objek fisik. Dengan bantuan perangkat lunak khusus, fotogrametri mengukur jarak antara titik-titik dalam gambar dan, melalui prinsip triangulasi, dapat menghitung posisi serta dimensi objek tersebut. Teknologi ini telah menjadi metode yang sangat efisien dalam memperoleh data spasial yang presisi, terutama dengan kemajuan kamera digital dan perangkat lunak analisis yang semakin canggih. Fotogrametri tidak hanya menghasilkan gambar dua dimensi, tetapi juga memungkinkan pembuatan model 3D yang detail dari objek yang dipelajari, sehingga memiliki aplikasi luas di berbagai bidang.

Secara umum, ada dua jenis utama fotogrametri berdasarkan metode pengambilan gambar: fotogrametri terestrial dan aerial. Fotogrametri terestrial dilakukan dengan kamera yang ditempatkan di permukaan tanah, biasanya digunakan untuk mengukur objek dari jarak dekat, seperti bangunan atau monumen bersejarah. Sementara itu, fotogrametri aerial melibatkan penggunaan kamera yang ditempatkan di pesawat, helikopter, atau drone, untuk menangkap gambar dari ketinggian. Metode ini sering digunakan untuk pemetaan area yang luas, seperti permukaan tanah atau wilayah perkotaan. Setelah gambar-gambar ini diambil, perangkat lunak fotogrametri memprosesnya untuk membuat model tiga dimensi dari objek atau area yang sedang dianalisis[7].

Fotogrametri menawarkan berbagai manfaat yang menjadikannya salah satu metode pengukuran yang sangat andal. Salah satu keunggulan utamanya adalah akurasi yang tinggi. Dengan teknologi yang tepat, fotogrametri mampu menghasilkan data spasial yang sangat presisi, sehingga cocok untuk aplikasi seperti survei tanah atau pemetaan topografi. Selain itu, teknik ini menawarkan efisiensi dalam hal waktu dan biaya, karena dapat mengumpulkan sejumlah besar data dalam waktu yang singkat[8]. Fotogrametri juga merupakan metode non-invasif, yang artinya tidak memerlukan kontak fisik dengan objek yang sedang diukur, sehingga sangat berguna dalam bidang arkeologi atau konservasi, di mana artefak atau bangunan bersejarah harus dijaga keutuhannya. Salah satu manfaat yang paling mencolok adalah kemampuannya dalam membuat model 3D, yang bisa diaplikasikan pada berbagai sektor mulai dari arsitektur hingga industri hiburan[9].

Namun, meskipun memiliki banyak keuntungan, fotogrametri juga memiliki tantangan dan keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu tantangan utamanya adalah kualitas gambar yang digunakan. Gambar dengan resolusi rendah atau yang tidak jelas dapat menghasilkan data yang kurang akurat, sehingga penting untuk menggunakan kamera yang berkualitas tinggi dan memastikan kondisi pengambilan gambar yang ideal. Selain itu, meskipun pengambilan gambar bisa dilakukan dengan cepat, pemrosesan data seringkali membutuhkan waktu yang lama, terutama jika jumlah gambar yang dianalisis cukup besar. Tantangan lainnya adalah biaya peralatan yang relatif mahal, mulai dari kamera beresolusi tinggi hingga perangkat lunak khusus yang digunakan untuk analisis. Faktor-faktor ini dapat menjadi penghalang bagi beberapa organisasi atau individu dengan anggaran terbatas, meskipun keunggulan teknis dan fungsional dari fotogrametri tetap membuatnya menjadi metode yang sangat berharga dalam berbagai bidang[10].

Aspek dalam Fotogrametri

Pada dasarnya, ada dua aspek utama yang mendasari pengembangan cabang-cabang fotogrametri, yaitu ukuran objek (kuantitatif) dan jenis objek (kualitatif). Kedua aspek ini memisahkan fotogrametri menjadi dua cabang utama, yaitu fotogrametri metrik yang berfokus pada pengukuran kuantitatif dan fotogrametri interpretatif yang berkaitan dengan analisis kualitatif[11]. Berikut ini adalah pembahasan mengenai kedua aspek tersebut.

1. Ukuran Objek (Kuantitatif) dalam Fotogrametri Metrik

Fotogrametri metrik berkaitan dengan pengukuran objek secara kuantitatif dan sangat penting dalam menentukan dimensi, posisi, serta bentuk objek dalam ruang. Aspek utama dalam fotogrametri metrik adalah kemampuan untuk menghitung ukuran objek dengan tingkat presisi yang tinggi melalui pemrosesan gambar secara matematis dan geometris. Salah satu prinsip dasar dalam fotogrametri metrik adalah triangulasi, yaitu teknik pengukuran yang melibatkan penggunaan dua atau lebih gambar yang diambil dari sudut yang berbeda. Dengan menggunakan teknik ini, dimensi dan posisi objek dalam ruang tiga dimensi dapat dihitung dengan akurat. Fotogrametri metrik banyak digunakan dalam apikasi yang memerlukan pengukuran yang tepat, seperti pemetaan topografi, survei tanah, serta rekayasa sipil. Dalam arsitektur, misalnya, teknik ini sangat membantu dalam mengukur dimensi bangunan atau struktur infrastruktur dengan ketepatan yang tinggi. Fotogrametri metrik juga sangat bermanfaat dalam pemantauan deformasi struktural, di mana perubahan kecil pada bangunan dapat diukur untuk memprediksi potensi kerusakan atau kebutuhan perbaikan. Kemajuan teknologi, seperti penggunaan drone dan Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), telah membuat fotogrametri metrik semakin mudah diakses dan lebih efisien. Dengan drone, gambar dapat diambil dari berbagai sudut pandang yang sulit dijangkau, memungkinkan pengukuran area yang luas dan detail dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 4. Stereoskop Cermin

2. Jenis Objek (Kualitatif) dalam Fotogrametri Interpretatif

Fotogrametri interpretatif berbeda dari fotogrametri metrik karena lebih berfokus pada analisis kualitatif, seperti identifikasi dan klasifikasi objek berdasarkan ciri-ciri visual. Dalam fotogrametri interpretatif, pola radiasi elektromagnetik yang tertangkap dalam gambar digunakan untuk mengenali objek alam atau buatan manusia. Proses ini memerlukan kemampuan analisis visual untuk mengidentifikasi fitur seperti warna, tekstur, dan bayangan yang menjadi dasar pengklasifikasian objek. Aplikasi fotogrametri interpretatif mencakup berbagai bidang yang memerlukan pengenalan objek, seperti pemantauan lingkungan, di mana teknologi ini dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan di lanskap seperti erosi atau deforestasi. Selain itu, dalam pertanian presisi, fotogrametri interpretatif sangat berguna untuk memantau kesehatan tanaman dan mengidentifikasi potensi infestasi hama. Perkembangan perangkat lunak dan kecerdasan buatan (AI) telah membantu meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam fotogrametri interpretatif. Algoritme pembelajaran mesin kini dapat digunakan untuk mengenali pola dan objek secara otomatis, yang membuat analisis data visual menjadi lebih cepat dan tepat.

3. Hubungan antara Fotogrametri Metrik dan Fotogrametri Interpretatif

Meskipun fotogrametri metrik dan interpretatif merupakan dua cabang yang berbeda, keduanya sering digunakan secara bersamaan untuk menghasilkan data yang lebih komprehensif. Dalam konteks survei lingkungan, misalnya, fotogrametri metrik dapat digunakan untuk mengukur topografi dan dimensi tanah, sementara fotogrametri interpretatif bisa membantu dalam mengidentifikasi jenis vegetasi atau pola penggunaan lahan. Kombinasi antara analisis kuantitatif dan kualitatif ini menghasilkan gambaran yang lebih lengkap mengenai kondisi objek atau area yang sedang dianalisis.

4. Masa Depan Fotogrametri

Teknologi dalam fotogrametri terus berkembang, dan masa depan bidang ini sangat menjanjikan. Integrasi kecerdasan buatan (AI) dan analisis big data diharapkan akan memainkan peran penting dalam pemrosesan data yang lebih efisien dan akurat. Selain itu, fotogrametri 4D yang mempertimbangkan dimensi waktu selain dimensi ruang juga diprediksi akan menjadi inovasi penting di masa depan, memungkinkan pemantauan perubahan suatu objek atau lingkungan dari waktu ke waktu. Peningkatan resolusi kamera dan kecepatan pengambilan gambar juga akan semakin meningkatkan akurasi serta efisiensi fotogrametri dalam berbagai aplikasi. Dengan perkembangan ini, fotogrametri diperkirakan akan terus berkembang menjadi alat yang lebih penting dan beragam dalam banyak sektor industri, termasuk konstruksi, arsitektur, lingkungan, dan bahkan hiburan.

Fotogrametri Benda-benda Cagar Budaya

Dalam konteks benda cagar budaya, fotogrametri digunakan untuk mendokumentasikan, melestarikan, dan menganalisis benda bersejarah secara lebih efisien. Kemajuan teknologi digital telah mempercepat dan meningkatkan akurasi proses ini.

1. Pentingnya Fotogrametri dalam Pelestarian Cagar Budaya

Fotogrametri memegang peranan krusial dalam pelestarian benda cagar budaya dengan cara menyediakan model tiga dimensi yang akurat. Teknik ini memungkinkan pendokumentasian yang mendetail dari objek-objek bersejarah, yang sangat penting untuk analisis restorasi, perbandingan kondisi di masa depan, dan penelitian ilmiah terkait sejarah dan arsitektur objek.

2. Manfaat Teknologi Digital

Kemajuan teknologi digital telah membawa berbagai manfaat dalam fotogrametri benda cagar budaya. Salah satu manfaat utamanya adalah pengambilan gambar digital dengan resolusi tinggi. Kamera digital modern memungkinkan pencatatan detail-detail kecil pada objek cagar budaya dengan sangat jelas, yang sebelumnya sulit dicapai dengan metode analog. Hal ini sangat penting untuk mendokumentasikan ukiran rumit, tekstur batu, atau struktur halus pada benda bersejarah. Selain itu, teknologi digital mempermudah penyimpanan dan aksesibilitas data. Foto digital yang dihasilkan dalam proyek fotogrametri dapat disimpan dalam berbagai format dan tidak mengalami penurunan kualitas seiring berjalannya waktu. Data ini juga dapat dengan mudah dibagikan di seluruh dunia, memungkinkan kolaborasi internasional yang lebih baik dalam pelestarian cagar budaya[12]. Dengan perkembangan cloud computing, data hasil fotogrametri dapat disimpan secara aman di server online dan diakses secara mudah oleh para ahli di berbagai lokasi. Teknologi digital juga memungkinkan rekonstruksi tiga dimensi dari benda cagar budaya. Dengan menggunakan teknik triangulasi, model 3D yang dihasilkan dapat memberikan representasi visual yang realistis dari objek, yang sangat berguna untuk mendokumentasikan bentuk aslinya dan merencanakan restorasi yang lebih akurat. Selain itu, model 3D dapat digunakan untuk mensimulasikan perubahan kondisi objek akibat faktor-faktor seperti cuaca atau erosi, memungkinkan tindakan preventif untuk melindungi objek sebelum kerusakan lebih lanjut terjadi.

Terakhir, teknologi digital meningkatkan efisiensi dan akurasi pengukuran. Berbeda dengan metode manual, fotogrametri digital menggunakan perangkat lunak canggih yang dapat secara otomatis menghitung dimensi objek dari foto, mengurangi kemungkinan kesalahan manusia dan mempercepat proses pengukuran. Ini menghasilkan data yang lebih konsisten dan dapat diandalkan.

3. Penggunaan Drone dalam Fotogrametri Benda Cagar Budaya

Penggunaan drone dalam fotogrametri digital telah menjadi inovasi penting, memungkinkan pengambilan gambar dari sudut-sudut yang sulit dijangkau dengan metode konvensional. Drone dilengkapi dengan kamera beresolusi tinggi yang dapat memotret objek cagar budaya dari udara, memberikan gambaran menyeluruh dari berbagai sudut, termasuk bagian atap dan fasad yang sulit diakses. Ini sangat berguna untuk mendokumentasikan situs bersejarah yang luas atau area dengan akses terbatas, serta untuk pemetaan topografi yang membantu para arkeolog mempelajari tata letak dan struktur situs secara mendalam.

4. Penggunaan Fotogrametri Digital dalam Proyek Pelestarian Cagar Budaya

Teknologi fotogrametri digital telah diterapkan dalam berbagai proyek pelestarian di seluruh dunia. Misalnya, di Indonesia, fotogrametri digital digunakan untuk mendokumentasikan Candi Borobudur, salah satu situs warisan dunia UNESCO, dengan menghasilkan model 3D dari relief dan struktur candi. Model ini membantu para ahli konservasi dalam memantau kondisi candi dan merencanakan langkah-langkah pelestarian. Di Lebanon, teknologi ini digunakan untuk rekonstruksi Kuil Baalbek yang rusak akibat perang dan gempa bumi, memungkinkan perancangan proyek restorasi yang akurat. Di Afghanistan, patung raksasa Buddha di Bamiyan, yang hancur akibat konflik, didigitalkan menggunakan fotogrametri untuk membuat rekonstruksi digital dan mempelajari bentuk asli patung tersebut.

5. Tantangan dalam Fotogrametri Digital Cagar Budaya

Meskipun menawarkan banyak manfaat, teknologi digital dalam fotogrametri juga menghadapi beberapa tantangan. Keterbatasan akses ke situs-situs bersejarah yang terletak di daerah terpencil atau konflik dapat menjadi hambatan dalam pengambilan gambar. Selain itu,

objek bersejarah dengan struktur yang kompleks memerlukan pemrosesan data yang lebih intensif dan perangkat lunak yang canggih. Teknologi fotogrametri digital juga memerlukan investasi besar untuk perangkat keras dan perangkat lunak, yang bisa menjadi kendala bagi proyek-proyek berskala besar.

Fotogrametri Peta 3D dalam Pelestarian Cagar Budaya

1. Peta 3D yang Akurat

Fotogrametri menghasilkan peta dalam bentuk dua atau tiga dimensi dengan presisi tinggi. Dalam pendokumentasian cagar budaya, teknologi ini dapat membuat model 3D dari bangunan bersejarah, artefak, dan situs arkeologi. Model ini memberikan representasi visual yang realistis, memungkinkan visualisasi objek dari berbagai sudut yang sulit dijangkau, serta mendokumentasikan kondisi fisik seperti retakan dan kerusakan. Hal ini sangat berguna dalam proses rekonstruksi bagian yang hilang atau rusak dari objek bersejarah.

2. Dokumentasi Detil untuk Analisis dan Restorasi

Peta fotogrametri menyediakan data detail tentang dimensi, topografi, dan struktur objek cagar budaya. Informasi ini mendukung restorasi dengan memungkinkan akurasi tinggi dalam rekonstruksi bagian yang hilang. Selain itu, data ini memfasilitasi analisis historis untuk memahami perubahan struktural dari waktu ke waktu dan membantu perencanaan konservasi dengan merencanakan tindakan preventif terhadap ancaman lingkungan atau aktivitas manusia.

3. Pemetaan Situs Arkeologi yang Luas

Fotogrametri efektif untuk memetakan situs arkeologi yang luas, menggambarkan kontur tanah dan posisi struktur secara detail. Ini memungkinkan dokumentasi kondisi situs secara komprehensif dan membantu studi tata letak situs, seperti memahami hubungan antara elemen dalam situs arkeologi atau bangunan kuno. Contohnya, di situs Machu Picchu, fotogrametri digunakan untuk menghasilkan peta topografi yang memberikan wawasan tentang tata letak dan penggunaan ruang.

4. Mempermudah Kolaborasi Lintas Disiplin

Hasil peta digital dari fotogrametri mempermudah kolaborasi lintas disiplin dengan memungkinkan akses jarak jauh ke data. Peneliti dari berbagai bidang dapat mengakses dan berbagi data fotogrametri, yang dapat digabungkan dengan informasi lain seperti citra satelit untuk analisis yang lebih mendalam. Ini meningkatkan efisiensi penelitian dan memudahkan studi tanpa perlu hadir secara fisik di lokasi.

5. Meningkatkan Kesadaran Publik dan Edukasi

Peta fotogrametri dapat digunakan untuk edukasi dan peningkatan kesadaran publik mengenai pelestarian cagar budaya. Model 3D dari bangunan bersejarah atau situs arkeologi dapat diakses melalui platform digital atau VR, memungkinkan masyarakat umum untuk mempelajari warisan budaya secara virtual. Ini membantu melestarikan sejarah secara digital dan mendidik generasi mendatang tentang pentingnya pelestarian warisan budaya.

6. Penanganan Kerusakan Akibat Bencana Alam

Fotogrametri juga berguna dalam mendokumentasikan kerusakan akibat bencana alam. Setelah bencana, peta fotogrametri membantu dalam memetakan kerusakan dan merencanakan restorasi. Data ini memungkinkan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah bencana, serta memberikan informasi presisi untuk rekonstruksi, baik pada skala kecil maupun besar.

Editing Citra dalam Dokumentasi Cagar Budaya

Editing citra memainkan peran krusial dalam memastikan informasi yang akurat tentang objek atau situs cagar budaya. Proses ini melibatkan beberapa langkah penting untuk menghasilkan model 3D yang jelas dan informatif dari gambar yang diambil dari sudut pandang yang berbeda. Pertama,

gambar harus diambil dari sudut pandang yang sedikit berbeda untuk menciptakan efek paralaks, yang diperlukan untuk menghasilkan pandangan stereoskopis dan informasi kedalaman. Penting untuk memastikan bahwa gambar diambil dengan konsistensi pencahayaan dan kualitas yang sama, serta dengan jarak horisontal tertentu antara posisi kamera, yang dikenal sebagai baseline. Selanjutnya, gambar yang diambil perlu diproses dengan kalibrasi kamera untuk mengoreksi distorsi lensa dan memastikan akurasi data geometris. Praproses ini juga mencakup penyelarasan gambar menggunakan perangkat lunak editing citra, sehingga objek pada kedua gambar berada dalam posisi yang sama secara vertikal dan horizontal. Tahap berikutnya adalah pencocokan fitur, di mana titik-titik khusus pada gambar diidentifikasi dan dicocokkan menggunakan algoritma seperti SIFT atau SURF. Proses ini membantu dalam memahami pergeseran perspektif antara gambar-gambar tersebut. Dengan data dari pencocokan fitur, model 3D objek dibangun melalui pengolahan stereoskopis, yang memanfaatkan perbedaan paralaks untuk menghitung kedalaman dan jarak. Informasi kedalaman ini digabungkan dengan gambar 2D untuk menghasilkan model 3D yang akurat. Editing lanjutan melibatkan penyesuaian warna dan kontras untuk meningkatkan kualitas visual gambar, serta penghapusan artefak yang mungkin terjadi selama proses perekaman atau rekonstruksi. Penyesuaian ini memastikan bahwa detail penting terlihat jelas dan model 3D bebas dari cacat. Akhirnya, model 3D dan gambar-gambar yang telah diedit diekspor dalam format yang sesuai untuk dokumentasi dan penggunaan lebih lanjut, seperti STL atau OBJ untuk model 3D dan JPEG atau TIFF untuk gambar 2D. Data ini kemudian disimpan dalam sistem penyimpanan yang aman untuk memastikan aksesibilitas dan pelestarian informasi tentang cagar budaya di masa depan.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian masyarakat ini berhasil meningkatkan sistem pendataan dan dokumentasi cagar budaya di BAWARASA Pametri Budaya dengan penerapan teknologi fotogrametri. Sebelumnya, mitra menghadapi kendala dalam pengelolaan informasi dan metode dokumentasi yang belum memadai. Melalui program ini, tim pengabdi telah membantu mitra melakukan pendataan secara sistematis dan mengajarkan teknik pengambilan gambar yang tepat. Selain itu, kami juga menyusun manual book yang berisi panduan lengkap mengenai penggunaan teknologi fotogrametri, langkah-langkah pengambilan gambar, dan cara pendataan yang efektif. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya memberikan dampak signifikan dalam pelestarian budaya, tetapi juga mempersiapkan mitra untuk melanjutkan upaya tersebut secara mandiri di masa depan.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil ABDIMAS menunjukkan bahwa metode fotogrametri dalam dokumentasi dan pelestarian cagar budaya memberikan dampak yang signifikan dalam hal efisiensi, akurasi, dan aksesibilitas. Teknologi digital seperti kamera beresolusi tinggi, drone, dan sensor LiDAR memungkinkan pengukuran objek bersejarah secara presisi melalui model 3D yang detail. Selain itu, penggunaan teknologi ini mendukung pelestarian yang lebih baik dengan metode non-kontak, sehingga mengurangi risiko kerusakan fisik pada objek. Hasil ABDIMAS ini juga menunjukkan bahwa fotogrametri menawarkan solusi yang lebih terjangkau dan mudah diakses oleh berbagai disiplin ilmu, memfasilitasi kolaborasi yang lebih luas dalam upaya pelestarian dan konservasi warisan budaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM) yang telah memberikan hibah dan mendukung penuh pelaksanaan program ABDIMAS dengan nomor kontrak 129/E5/PG.02.00/PM.BARU/2024. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Lembaga

Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Merdeka Malang yang telah memberikan arahan, fasilitas, dan dukungan administratif sehingga program ini dapat berjalan dengan lancar. Apresiasi khusus juga diberikan kepada seluruh tim pelaksana yang telah bekerja keras dan berdedikasi tinggi dalam mewujudkan tujuan ABDIMAS. Tak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada mitra yang terlibat, baik individu maupun kelompok, atas kerja sama, dukungan, dan kontribusinya yang sangat berharga dalam pelaksanaan program ini. Semoga kerja sama ini dapat terus terjalin dan memberikan manfaat bagi masyarakat luas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Elfreda, D. P. Nugroho, and A. Nirwana, "Perancangan Buku Fotografi Esai Relief Candi Penataran untuk Memperkenalkan Cerita Panji bagi Masyarakat Usia 20-50 Tahun," in *Prosiding Seminar Nasional Desain Komunikasi Visual*, 2024, vol. 4, pp. 113–135.

[2] I. Amal, F. Fajrin, and D. Defwaldi, "Analisis Kepadatan Titik dan Geometri Mesh 3D pada Bangunan Gedung Gebouw Van Padangsche Spaarbank," *J. Penelit. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 3, no. 4, pp. 1–19, 2024.

[3] G. A. Sambodo, "Perekaman Tiga Dimensi (3D) Benda Hasil Budaya Menggunakan Telepon Pintar: Studi Kasus Arca Dewi Laksmi di Madiun," *JANUS*, vol. 1, no. 1, pp. 61–77.

[4] I. Ilyas, M. Nur, I. Alimuddin, and K. T. Muda, "DIGITALISASI GUA PRASEJARAH BERGAMBAR DI KAWASAN KARST MAROS-PANGKEP: STUDI KASUS LEANG LAMBATORANG KABUPATEN MAROS," *J. ILMU BUDAYA*, vol. 11, no. 2, pp. 208–215, 2023.

[5] J. S. Alya, M. A. R. Adhari, and E. Y. Rahadian, "Upaya Pelestarian Bangunan Cagar Budaya Melalui Pendekatan Implementasi Metoda Heritage-Bim, Kasus Studi: Au Bon Marche-Braga Bandung," 2023.

[6] P. Amelia, I. Azhari, H. Fibriasari, R. A. Syahputra, and N. A. Setiawati, "STRATEGI PENYELAMATAN CAGAR BUDAYA DI KABUPATEN ASAHAN," *Community Dev. J. J. Pengabdi. Masy.*, vol. 5, no. 4, pp. 6165–6173, 2024.

[7] M. Apriansyah and H. Harintaka, "Pembuatan Model 3D Bangunan LoD3 Dengan Pemanfaatan Foto Udara dan Fotogrametri Terrestris," *Geoid*, vol. 18, no. 2, pp. 243–252, 2023.

[8] Y. Piskonata and A. Pambudi, "Rekonstruksi Bangunan Candi Gebang Berbasis 3D Menggunakan Teknik Fotografi 3600," *Indones. J. Comput. Sci. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 95–103, 2024.

[9] A. R. Jardini, "Analisis Pemodelan Tiga Dimensi Bangunan Bersejarah Menggunakan Low-Cost LiDAR dan Fotogrametri Jarak Dekat (Studi Kasus: Candi Tikus, Kecamatan Trowulan, Kabupaten Mojokerto)." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023.

[10] J. R. Kurniawan, "Analisis Pemodelan Tiga Dimensi Cagar Budaya Candi Sanggrahan Menggunakan Wahana Quadcopter dan Kamera DSLR." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023.

[11] W. Nuryudha, "Analisis Perbandingan Pemodelan 3D Menggunakan Metode Fotogrametri dan Videogrametri Dengan Wahana UAV Quadcopter dan Kamera DSLR (Studi Kasus: Candi Gunung Gangsir, Pasuruan)." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2024.

[12] N. ARISTIA, "Pemodelan 3D Kawasan Cagar Budaya Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi data Foto Terestris dan Foto Udara (studi Kasus Kawasan Candi Sambisari-Yogyakarta)." Universitas Gadjah Mada, 2014.