

PEMANFAATAN FOTOGRAMETRI UNTUK MODEL 3 DIMENSI DENGAN VISUALISASI MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY (AR)

M Mujahid Aditya Fidera ^a, Muhammad Ihsan ^b

^{a,b} Universitas Pendidikan Indonesia, Program Studi Survei & Pemetaan

Email: adityafidera16@gmail.com

ABSTRACT

Technological advances will continue to develop and develop in line with advances in science and have innovations that have a positive impact on human life. One aspect that will continue to develop along with the development of science and technology is the media in conveying information. Media, of course, is related to the use of tools that have the ability to visualize a certain object / situation. Before visualizing an object / situation to display information on the role of a camera or vehicle used to capture objects / conditions on the earth's surface, it is needed. Photogrammetry is one of the suitable activities before visualizing. In accordance with the notion of photogrammetry which is an art, science and technology in obtaining reliable information about objects and the physical environment through the recording process. The product of photogrammetry is a technology that can be used as a medium in conveying information. The method used to take advantage of photogrammetric products is by combining data through processing several software (software). In this study, the combination of Augmented Reality (AR) with 3-dimensional digital photogrammetric products is a means of technology for interaction between humans and computers. Because the product of photogrammetry in the form of 3 dimensions is in accordance with the actual condition of the object on the earth's surface and Augmented Reality (AR) provides interactive information to users, especially it is used in various activities. The process of delivering information using technology as the medium will greatly facilitate users in the process of activities related to information.

Keywords: *Photogrammetry, Augmented Reality (AR).*

INTISARI

Kemajuan teknologi akan terus berkembang dan berkembang selaras dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan memiliki inovasi yang berdampak positif bagi kehidupan manusia. Salah satu aspek yang akan terus berkembang seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi adalah media dalam menyampaikan informasi. Media tentu saja berkaitan dengan penggunaan alat yang memiliki kemampuan untuk memvisualisasikan suatu objek/keadaan tertentu. Sebelum melakukan pemvisualisasian terhadap suatu objek/keadaan untuk menampilkan informasi peran kamera atau wahana digunakan untuk menangkap objek/keadaan pada permukaan bumi sangat dibutuhkan. Fotogrametri merupakan salah satu kegiatan yang cocok sebelum melakukan pemvisualisasian. Sesuai dengan pengertian fotogrametri yang merupakan seni, ilmu dan teknologi dalam memperoleh informasi yang terpercaya mengenai objek-objek dan lingkungan fisis melalui proses perekaman. Produk dari fotogrametri merupakan teknologi yang dapat dimanfaatkan sebagai media dalam penyampaian informasi. Metode yang digunakan untuk memanfaatkan produk dari fotogrametri yaitu dengan mengkombinasikan data melalui pengolahan beberapa perangkat lunak (software). Pada penelitian ini, kombinasi antara Augmented Reality (AR) dengan produk fotogrametri digital 3 Dimensi merupakan sarana bagi teknologi interaksi antara manusia dengan komputer. Karena produk dari fotogrametri yang berbentuk 3 Dimensi sudah sesuai dengan keadaan objek sebenarnya yang ada pada permukaan bumi dan Augmented Reality (AR) memberikan informasi secara interaktif kepada pengguna terutama dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan. Proses penyampaian informasi yang menggunakan teknologi sebagai medianya akan sangat memudahkan untuk pengguna dalam proses kegiatan yang berkaitan dengan informasi

Kata kunci: *Fotogrametri, Augmented Reality (AR)*

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi akan terus berkembang dan berkembang selaras dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan memiliki inovasi yang berdampak positif bagi kehidupan manusia (Jamun, 2018). Pemanfaatan teknologi dalam aspek media dapat dikategorikan sebagai salah satu alat peningkat, perantara, maupun pengantar informasi dari pemberi informasi ke penerima informasi untuk meningkatkan kualitas masyarakat (Ihsan & Sugandi, 2018). Teknologi juga merupakan sarana bagi media digital yang menjadikan informasi bersifat fleksibel dan informatif. Media teknologi digital berdampak pada kemajuan image processing (Ardhianto, 2012). Berkembangnya teknologi image processing tidak luput dari peran kamera sebagai wahana yang dapat digunakan untuk menangkap suatu gambar atau suatu kejadian. Foto pada dasarnya diambil dari berkas sinar dari objek menjalar dan menyerupai garis lurus menuju pusat lensa (kamera) wahana sehingga terekam (Putra, 2016). Foto yang ditangkap melalui kamera akan memiliki informasi digital. Pendigitalisasian dalam media visualisasi dapat menggunakan fotogrametri, dimana pemotretan akan menghasilkan produk berupa foto udara (Sondang, 2017). Teknologi survey menggunakan fotogrametri telah merevolusi kemampuan manusia dalam merekam dan mengkarakterisasi permukaan bumi (Smith dkk., 2016).

Fotogrametri merupakan kesatuan dari optic, elektronik, fotografi, matematika dan teknologi komputer (Seker & TOZ, 2006). Fotogrametri juga merupakan seni, ilmu dan teknologi dalam memperoleh informasi yang terpercaya mengenai objek-objek dan lingkungan fisis melalui proses perekaman yang juga didukung dengan berkembangnya teknologi robotic dan komputer vision, dapat menghasilkan suatu objek 3 (Tiga) Dimensi non terestris (Ihsan & Sugandi, 2018). Pada fotogrametri, diperlukan berkas sinar yang sama dari foto lainnya atau yang biasa disebut dengan pertampalan (Putra, 2016). Menurut (Purwanto, 2017) hasil yang baik pada gambar atau foto didapatkan dari

penerapan kamera metrik sebagai sensor pemotretan. Hal ini dikarenakan pada fotogrametri metrik terdiri dari pengukuran cermat berdasarkan foto dan sumber informasi lain yang pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi relatif titik-titik yang memungkinkan memperoleh ukuran jarak, sudut, luas, volume, elevasi, ukuran dan bentuk objek (Syauqani dkk., 2017). Penggunaan kamera metrik pada fotogrametri yang hanya memetakan daerah kecil atau tertentu saja akan sangat memakan biaya dan kurang efisien. Maka, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah salah satu wahana yang tepat dalam melakukan fotogrametri jarak dekat atau close range photogrammetry.



Gambar 1. Wahana *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Sumber: <https://www.seilergeo.com>

Pada fotogrametri jarak dekat, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dimanfaatkan untuk mendapatkan informasi dari bentuk dan struktur bangunan atau bangunan yang sedang dalam proses analisis (Arias dkk., 2007). Objek 3 (Tiga) Dimensi pada permukaan bumi didokumentasikan dan didigitalisasikan dengan mengintegrasikan fotogrametri, sensor aktif dan sebagainya (Suwardhi dkk., 2015). Pada pemodelan 3 Dimensi menggunakan fotogrametri penentuan posisi sudut pandang kamera dan pertampalan saat melakukan akuisisi diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan hasil foto yang tumpang tindih satu sama lain sehingga geometri objek pada foto dapat diidentifikasi dengan proses perhitungan pada perangkat lunak fotogrametri (Gruen dkk., 2012). Foto udara yang dihasilkan dalam proses akuisisi data, diolah dengan *Structur from*

Motion (SfM) dan *Multiview Stereo (MvS)* dan akan menghasilkan *point cloud* yang berhubungan (Caroti dkk., 2017). Pertampalan akan memudahkan dalam proses pengidentifikasian geometri objek pada pemodelan 3 (Tiga) Dimensi.

Metode fotogrametri ini, sangat memudahkan untuk mengidentifikasi suatu objek pada permukaan bumi tanpa harus melakukan kontak fisik dengan objek tersebut (Husna dkk., 2016) dan menurut (Nex & Remondino, 2014), fotogrametri juga memungkinkan untuk mendapatkan informasi spasial maupun visual secara detail. Proses komputasi fotogrametri digital juga dikembangkan untuk mempermudah proses otomatis dalam pengolahan produk hingga menjadi produk digital (Fraser & Hanley, 2004). Teknologi fotogrametri digital untuk pemodelan 3 (Tiga) Dimensi dapat menghasilkan tingkat tekstur yang cukup tinggi (Ihsan & Sugandi, 2018). Produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi mudah diakses karena sudah terdigitalisasi. Produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi diintegrasikan dengan teknologi virtualisasi dengan tujuan untuk berinteraksi secara langsung dengan objek pada permukaan bumi yaitu *Augmented Reality (AR)*.

Menurut William R & Allan B, 2003; Bowo Dwi, 2012; Stephen Cawood & Mark Fiala, 2008 pada laporan penelitian yang dilakukan oleh (Yohan dkk., 2012). *Augmented Reality (AR)* memiliki pengertian sebagai sebuah istilah untuk lingkungan buatan yang menggabungkan buatan komputer (*dunia virtual*) dengan dunia nyata pada media tertentu seperti monitor/ *Liquid Crystal Display (LCD)*/ *Head Mounted Display* sehingga terjadi interaksi antara objek nyata tersebut dengan objek virtual. Pemvisualisasian secara virtual dengan *Augmented Reality (AR)* membantu dalam penyampaian suatu informasi kepada pengguna (Martono, 2011). Teknologi ini membuat pengguna dapat berinteraksi secara langsung dengan objek karena komputer mensimulasikan lingkungan sebenarnya sesuai dengan keadaan sebenarnya pada permukaan bumi (Sihite dkk., 2013). Menurut (Ananda dkk., 2015) *Augmented Reality (AR)*

berbeda dengan *Virtual Reality (VR)*, *Augmented Reality (AR)* menambahkan atau melengkapi kenyataan dengan virtualisasi sedangkan *Virtual Reality (VR)* menggantikan sepenuhnya kenyataan dengan virtualisasi.

Augmented Reality (AR) memiliki dua metode visualisasi. Pertama, adalah metode yang menggunakan *marker* dan yang kedua adalah metode yang tidak menggunakan *marker (markerless)*. Pada penerapannya, metode *Markerless* (tanpa penanda/pola) digunakan dengan tujuan membuat perangkat yang menerapkan teknologi *Augmented Reality (AR)* lebih praktis, efisien, menarik dan bisa digunakan dimanapun, kapanpun oleh siapapun tanpa perlu menggunakan *marker* (penanda/pola) (Rizky, 2012) pada (Saputro & Saputra, 2015). Dalam laporan penelitian yang telah dilakukan oleh (Yohan dkk., 2012), *Augmented Reality (AR)* berguna untuk menginput informasi-infromasi yang ada pada lingkungan sekitar maupun objek pada perencanaan pembangunan gedung baru dan diolah menjadi inputan baru bagi dunia virtual hingga menjadi infromasi-infromasi baru lain. Informasi ini divisualisasikan secara *real time* di dunia nyata sehingga seolah-olah informasi tersebut nyata.

Proses komputasi dalam hal interaksi, menggabungkan visualisasi objek digital dengan dunia virtual atau maya. Dunia virtual atau maya pada *Augmented Reality (AR)* menyajikan media informasi dan visualisasi yang cukup baik dan diintegrasikan pada produk fotogrametri 3 (Tiga) Dimensi digital. Lingkungan atau objek pada permukaan bumi 3 (Tiga) Dimensi yang disimulasikan dalam bentuk maya, membantu pengguna dalam hal interaksi secara lebih jelas dan nyata (Sihite dkk., 2013). Karena *Augmented Reality (AR)* menjadikan pengguna berinteraksi langsung secara lebih jelas, maka pengguna juga dapat mengeksplorasi informasi secara langsung dari objek yang disimulasikan (Nurchahyo dkk., 2015). *Augmented Reality (AR)* memberikan prespektif yang lebih luas terkait dengan aplikasi kreatif dan menampilkan visualisasi yang digunakan dalam berbagai

bidang seperti perdagangan, pameran, pelatihan, seni, rehabilitasi, hiburan, dan pendidikan. Misal, dalam dunia kedokteran, *Augmented Reality (AR)* juga memiliki peluang besar. *Augmented Reality (AR)* digunakan secara langsung pada manusia, sehingga manusia mampu mengetahui organ-organ tubuh maupun objek lain yang disimulasikan (Nurchayodik., 2015). Sedangkan, dalam pendidikan menurut (Jamun, 2018) berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi pada pendidikan memiliki dampak positif yaitu pendidikan dapat dengan mudah dilakukan dengan menggunakan media-media teknologi seperti komputer yang berfungsi mengolah data dengan memanfaatkan berbagai program untuk melaksanakan pendidikan. Dalam bidang sejarah, pengintegrasian produk 3 (Tiga) Dimensi dari fotogrametri dengan *Augmented Reality (AR)* mampu memvisualisasikan objek-objek bersejarah secara detail (Suryani, 2016). Hal ini akan membuat informasi yang dihasilkan sangat efektif dan interaktif karena penerima informasi akan secara langsung berinteraksi dengan objek. Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah salah satu bangunan bersejarah di Indonesia.

Objek-objek bersejarah di Indonesia yang dapat digunakan sebagai media dalam menyampaikan informasi sejarah salah satu contohnya adalah Candi. Bangunan bersejarah yang sudah dimodelkan 3 (Tiga) Dimensi akan memudahkan penerima informasi dalam menggali informasi detail dan mendalam. Dengan proses komputasi objek-objek bersejarah dapat divisualisasikan secara detail sehingga informasi tersampaikan dengan baik (Suryani, 2016). Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Suwardhi dkk., 2015) yang telah memodelkan Candi Borobudur. Objek tersebut dapat memudahkan penerima informasi untuk mengidentifikasi kondisi Candi Borobudur tanpa harus melakukan observasi langsung di lapangan.



Gambar 2. Model 3 Dimensi Candi Borobudur

Sumber: (Suwardhi dkk., 2015)

Salah satu situs sejarah di Indonesia adalah Kompleks Candi Arjuna yang terletak di Desa Dieng Kulon, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara. Candi merupakan objek pada permukaan bumi dan merupakan warisan budaya yang memiliki nilai sejarah dan ilmu pengetahuan (Pratomo dkk., 2018). Kompleks Candi Arjuna pada Kompleks Candi Dieng adalah salah satu warisan budaya yang layak untuk dimanfaatkan dalam penyampaian informasi sejarah. Konten media visual, virtual dan audio pada proses penyampaian informasi sejarah juga akan bermanfaat sebagai penarik perhatian dan membuat konsisten dalam menjaga konsentrasi. Produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi yang diintegrasikan dengan *Augmented Reality (AR)* akan menyajikan informasi yang ada pada Kompleks Candi Arjuna secara informatif sesuai dengan keadaan aslinya dan interaktif merupakan hasil dari pemanfaatan teknologi dalam bidang virtual.

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengolahan data dan menjadikan hasil survey lapangan sebagai objek yang akan menghasilkan produk penelitian. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif, yaitu penelitian yang menghasilkan informasi baru didalam produk penelitian dan penjelasa deskriptif menggunakan metode studi pustaka yang menggunakan jurnal dan artikel ilmiah lainnya sebagai acuan dalam tulisan. Metode kualitatif bersifat deskriptif detail dan mendalam

sehingga akan memuat banyak referensi jurnal atau artikel yang terkait. Hal ini dipilih guna menghasilkan hasil yang memiliki informasi akurat.

Lokasi penelitian berada di Kawasan Kompleks Candi Arjuna. Candi Arjuna adalah bagian dari Kompleks percandian yang berada pada Desa Dieng Kulon, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara. Kompleks Candi Arjuna memiliki luas 1 hektare. Candi Arjuna terletak pada koordinat $7^{\circ}12'18''$ Lintang Selatan dan $109^{\circ}54'24.25''$ Bujur Timur. Kompleks Candi Arjuna terletak disebelah timur talaga Merdada. Di kompleks Candi Arjuna juga terdapat Candi Semar, Candi Srikandi, Candi Puntadewa dan Candi Sembadra Pada penelitian ini produk 3 (Tiga) Dimensi dari fotogrametri divisualisasikan dengan menggunakan *Augmented Reality (AR)*. Untuk melakukan penelitian yang berjudul "Pemanfaatan Fotogrametri untuk Model 3 Dimensi dengan Visualisasi Menggunakan Teknologi *Augmented Reality (AR)*" langkah penelitian yang akan dilakukan adalah seperti dibawah ini:

- a. Teknik Pengambilan Data
Kompleks Candi Arjuna telah diakuisisi dengan metode Fotogrametri menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Data hasil akuisisi berupa foto udara dengan jumlah 143 Foto yang memiliki overlap dan sidelap yang menggunakan teknik pengambilan foto dengan metode *Circular*.
- b. Teknik Pengolahan Data
Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa software dengan masing-masing fungsinya. Teknik Pengolahan merupakan bagian yang terpenting dalam penelitian ini. Pengolahan hasil akuisisi data fotogrametri Kompleks Candi Arjuna dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape*. Pada *Agisoft Metashape* hasil akuisisi digabungkan dengan menggunakan konsep *Structur from Motion (SfM)*

agar menjadi *point cloud* yang tergabung dalam satu objek dikarenakan berkas sinar yang sama dari masing-masing foto (Caroti dkk., 2017). Proses ini dikenal dengan *Align Photo*. Hasil dari *point cloud* yang tergabung akan diproses kembali dengan melakukan *build dense cloud* untuk membentuk *point cloud* agar mendekati bentuk objek dengan bentuk point. Setelah objek 3 (Tiga) Dimensi terlihat, dilanjutkan dengan membentuk muka dari objek 3 (Tiga) Dimensi menggunakan *Build Mesh*. Pada *Build Mesh*, hasil dari *Build Dense Cloud* yang masih berbentuk point diratakan sehingga menjadi bentuk objek. Proses penajaman warna objek dilakukan dengan menggunakan *Build Texture*. Teknik Pengolahan data akan menghasilkan produk berupa fotogrametri 3 (Tiga) Dimensi Kompleks Candi Arjuna. Data produk 3 (Tiga) Dimensi Kompleks Candi Arjuna nantinya akan memiliki format *file .obj* untuk di import kedalam perangkat lunak *Cloud Compare*. Pada perangkat lunak *Cloud Compare*, *file* berformat *.obj* akan disegmentasi dengan tujuan untuk merapihkan dan memfilter wilayah yang akan digunakan untuk divisualisasikan sebagai objek pembelajaran. Sesuai dengan keunggulan fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi objek yang divisualisasikan akan memudahkan untuk identifikasi dan analisis (Ihsan & Sugandi, 2018). Maka dari itu, produk disegmentasi agar mendapatkan visualisasi yang baik dan jelas agar menjadi media visualisasi dan media informasi yang baik pula. *Augmented Reality (AR)* digunakan dalam pengolahan data sebagai media pemvisualisasian secara virtual dan termasuk kedalam *image processing* (Ardhianto, 2012). Teknik *image processing* pada *Augmented Reality (AR)* menggunakan perangkat lunak *Unity 3D* dan dibantu menggunakan

perangkat lunak *Visual Studio 2019*. *Unity 3D* sebagai pengolahan visualisasi produk fotogrametri 3 (Tiga) Dimensi. Pemvisualisasian ini dilakukan sebagai penggabungan dunia maya dengan lingkungan atau keadaan nyata pada permukaan bumi (Martono, 2011). Perangkat lunak *Unity 3D* juga digunakan sebagai penghasil aplikasi berformat *.apk* yang akan diinput kedalam *Android* untuk pemvisualisasian produk. Sedangkan, perangkat lunak *Visual Studio 2019* digunakan sebagai pengolah *Markerless Augmented Reality (AR)* yang akan membantu pemvisualisasian pada objek ketika telah menjadi produk tanpa penanda/marker. Pengolahan pada *Visual Studio 2019* menggunakan salah satu asset yang ada pada *software Unity 3D* sebagai objek untuk arah kamera utama. *Script* pada *software Visual Studio 2019* akan menjadikan objek pada arah kamera utama sebagai target sehingga kamera utama akan mengenal objek tersebut sebagai marker. *Markerless Augmented Reality (AR)* akan diaplikasikan untuk panca indra penglihatan, pendengaran dan sebagai media dalam menyampaikan informasi.

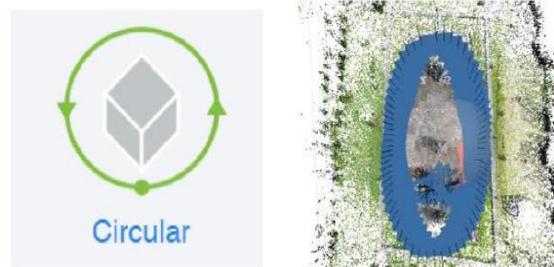
c. Teknik Penyajian Data

Teknik penyajian data dalam penelitian ini menggunakan perangkat android sebagai media dalam pemvisualisasian produk. *File* berformat *.apk* hasil dari pengolahan pada *Unity 3D*, di import kedalam android sesuai dengan sistem android yang telah dihasilkan oleh perangkat lunak *Unity 3D*. Perangkat lunak *Visual Studio 2019* yang berperan sebagai pembentuk pola atau *marker* yang akan dijadikan arah kamera utama, membantu pengolahan dan penyajian data tanpa menggunakan *marker/markerless*. Pola-pola/asset yang dapat dijadikan pada *software Unity 3D* dapat dijadikan sebagai tergaet *Markerless Augmented Reality* untuk

pemvisualisasian produk penelitian ini. Perangkat android merupakan media dalam penyajian produk yang akan dihasilkan.

3. Hasil & Pembahasan Produk Fotogrametri Digital 3 (Tiga) Dimensi

Produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi pada penelitian ini diakuisisi pada tahun 2017. Proses akuisisi dilakukan langsung di lapangan (Kompleks Candi Arjuna, Desa Dieng Kulon, Kecamatan Batur, Kabupaten Banjarnegara. KompleksCandi Arjuna diakuisisi menggunakan drone DJI Phantom 4 Pro. Drone ini merupakan wahana yang termasuk Unmanned Aerial Vehicle (UAV) karena pesawat ini terbang tanpa awak. Akuisisi dilakukan dengan ketinggian kurang lebih 40 meter dari permukaan tanah. Akuisisi ini juga dibantu oleh salah satu software untuk melakukan akuisisi dengan wahana drone DJI Phantom 4 Pro yaitu Pix4D menggunakan metode Circular. Pada metode Circular sudut kamera ditentukan secara manual dan berpengaruh terhadap pertampalan yang akan dihasilkan. Jika sudut kamera kecil maka persentase pertampalan akan semakin tinggi. Standar sudut metode Circular adalah 10° . Akuisisi data yang dilakukan di Kompleks Candi Arjuna Dieng ini mengasilkan 143 Foto udara.



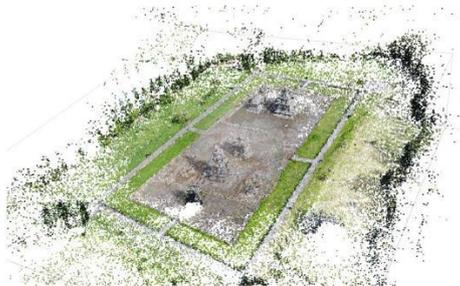
Gambar 3. Metode Circular pada aplikasi *PIX4D*

Sumber; <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115002496226-iOS-Circular-Mission-Settings>

Data hasil dari akuisisi berupa 143 foto udara diolah dengan menggunakan *software Agisoft Metashape*. Data akuisisi ini olah sesuai dengan teknik pengolahan data yang berada pada langkah penelitian.

Hasil dari data yang diolah menggunakan *Agisoft Metashape* adalah berupa hasil *Alignment Photo*, hasil dari *Build Dense Cloud*, hasil dari *Build Mesh*, hasil dari *Build Texture* dan hasil segmentasi yang dilakukan menggunakan *software Cloud Compare*.

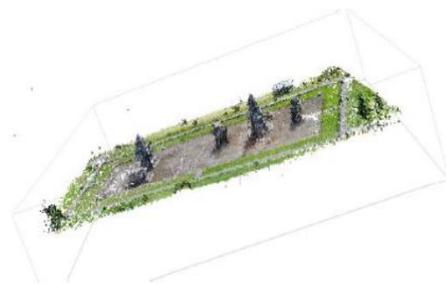
- a. **Alignment Photo**, proses ini dilakukan menggunakan *software Agisoft Metashape* dan menghasilkan *tie point* yang telah teridentifikasi secara otomatis menggunakan algoritma. Algoritma ini akan berfungsi untuk mengenali titik-titik yang mempunyai kesamaan nilai pixel dan akan memodelkan kedalam model 3 (Tiga) Dimensi. Pada pengolahan data ini, *Alignment Photo* dilakukan dengan akurasi *medium*, mencentang *checklist box Generic preselection* dan *Reference preselection*, *Key Point Limit; 60,000*, *Tie Point Limit; 0* dan mencentang *checklist box Adaptive camera model fitting*. Hasilnya adalah seperti pada Gambar 4. dibawah ini.



Gambar 4. Hasil *Alignment Photo* pada *Agisoft Metashape*
Sumber: Pengolahan Pribadi

- b. **Build Dense Clouds**, proses ini merupakan lanjutan dari proses sebelumnya yaitu *Alignment Photo*. *Build Dense Clouds* menggabungkan point-point yang sudah dihasilkan oleh *Alignment Photo* dengan menginterpolasi point-point tersebut hingga membentuk suatu objek 3 (Tiga) Dimensi yang masih berupa *point clouds*. Setelah mendapatkan hasil dari proses *Build Dense Cloud*, *point clouds* yang

melenceng jauh dari objek yang utama akan dihapus dengan menggunakan *Rectangular Selection*. Pengaturan yang digunakan pada saat pengolahan *Build Dense Clouds* yaitu *Quality; High*, *Depth Filtering; Aggressive* dan mencentang *Checklist box; Calculate point colors*. Hasil *Build Dense Clouds* yang memiliki kualitas tinggi juga akan mempermudah pengolahan pada *Build Mesh* karena pada proses ini *point clouds* digunakan sebagai sumber data untuk menginterpolasi atau merekonstruksi sehingga menjadi bentuk 3 (Tiga) Dimensi. *Build Dense Clouds* yang berkualitas tinggi akan menghasilkan objek seperti pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hasil pengolahan *Build Dense Clouds* dan filterisasi pada *Agisoft Metashape*
Sumber: Pengolahan Pribadi

- c. **Build Mesh** merupakan proses terakhir pada *software Agisoft Metashape* dengan melakukan interpolasi dan rekonstruksi dari kumpulan *tie point* atau *dense clouds* sehingga membentuk bidang permukaan yang saling menutupi. Pengaturan yang digunakan pada proses *Build Mesh* yaitu *Source data; Dense Cloud*, *Surface type; Arbitrary (3D)*, *Face count; High (7,911,137)*, *Interpolation; Enabled*, *Point Classes; All* dan mencentang *Checklist; Calculate vertex colors*. Pada tahap ini, produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi sudah

terlihat. Hasilnya seperti pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Hasil pengolahan *Build Mesh* pada *Agisoft Metashape*
Sumber: Pengolahan Pribadi

d. **Build Texture**, tahapan ini membentuk model 3 (Tiga) Dimensi dari keseluruhan area yang terekam dalam kamera terutama objek yang akan dimodelkan kedalam 3 (Tiga) Dimensi. Pada *Build Texture*, pengaturan yang digunakan yaitu *Mapping mode; Orthophoto, Blending Mode; Mosaic, Texture size/Count; 4096x1, checklist box; Enabled hole filling and Enabled Ghosting filter*. Hal ini dimaksudkan dengan tujuan agar warna dan texture pada model 3 (Tiga) Dimensi mendekati warna objek sebenarnya pada permukaan bumi.



Gambar 7. Hasil pengolahan *Build Texture* pada *Agisoft Metashape*
Sumber: Pengolahan Pribadi

e. **Segmentasi** dilakukan pada *software Cloud Compare* untuk merapihkan produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi agar ketika memvisualisasikan produk

menggunakan *Augmented Reality (AR)* memiliki kualitas yang baik. Hasil dari segmentasi pada pengolahan foto ini merupakan produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi Produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi adalah seperti pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Hasil pengolahan *Segmentation* pada *Cloud Compare*
Sumber: Pengolahan Pribadi

A. Produk *Augmented Reality (AR)*

Produk *Augmented Reality (AR)* adalah hasil kombinasi dari produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi dengan teknologi interaksi yaitu *Augmented Reality (AR)* yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai macam kegiatan. *Augmented Reality (AR)* diolah dengan menggunakan *software Unity 3D*. Pada *software Unity 3D*, produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi yang akan divisualisasikan diletakan diantara objek 3 (Tiga) Dimensi yang berasal dari *Unity 3D (Quad)* dan kamera utama (*Main Camera*). Kamera utama (*Main Camera*) yang digunakan untuk memvisualisasikan produk dari fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi diatur menggunakan *C# script* yang ditambahkan secara manual dan diolah menggunakan *Visual Studio 2019*. Pada pengolahan *Augmented Reality (AR)* menggunakan *software Unity 3D*, ada beberapa komponen yang dibutuhkan sehingga menghasilkan produk yang berkualitas yaitu sebagai berikut.

a. **Markerless C# Script**, *Script* ini diinput kedalam *Main Camera* yang ada pada *Asset* di dalam *software Unity 3D* komponen baru. Pada *Script*, disebutkan; "*Public GameObject webCameraPlane*" dan

akan menghasilkan komponen baru yaitu *Web Camera Plane* di dalam menu *Inspector Main Camera*. *Web Camera Plane* berisikan *Game Object* yaitu *Quad*. Maka, *Quad* diatur sebagai gambaran rencana untuk bekerjanya kamera. Selanjutnya, pada *Script* disebutkan "*WebCamTexture*
`webCameraTexture = new WebCamTexture();`" berarti membuat *WebCameTexture* baru dan diikuti oleh *webCameraPlane*. `GetComponent <MeshRenderer> (). Material . main Texture = webCameraTexture; web Camera Texture . Play();` berarti *Web Camera Texture* tersebut digunakan untuk *Main Texture* dari *Web Camera Plane* yang sudah dibuat sebelumnya dan akan "*Play*" kamera dengan *script* tersebut. `GameObject cameraParent = new GameObject("camParent"); cameraParent.transform.position = this.transform.position; this.transform.parent = cameraParent.transform; cameraParent.transform.Rotate (Vector3.right, 90);` *C# Script* ini pada dasarnya akan mengontrol bahwa *script* tidak melenceng atau masih berada di *mobile platform* yang akan membuat *camera parent object* dan akan mengatur posisi kamera utama (*main camera*). *C# Script* berfungsi untuk membuat produk *Augmented Reality (AR)* tanpa menggunakan *marker* atau *markerless*.

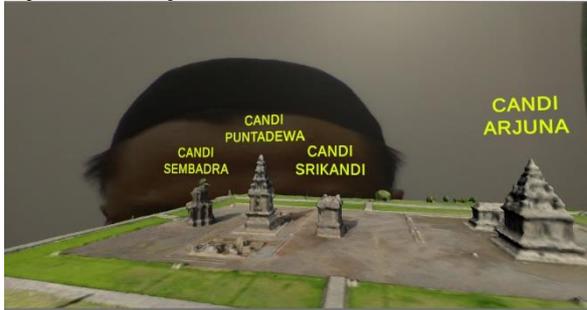
- b. **Rotation C# Script** juga digunakan untuk mengatur dan mengontrol animasi yang digunakan untuk merotasi objek agar masing-masing sisi dari objek dapat terlihat dengan jelas. Metode `update();` pada *C# Script* adalah metode yang digunakan untuk mengatur dan mengontrol animasi rotasi pada *Unity 3D*. Pada *C# Script* disebutkan "`transform.Rotate(new`

`Vector3(0f, 0f, 20f) * Time.deltaTime);`" yang berarti akan transrotasi berupa rotasi dengan pilihan x, y, z. Karena rotasi memiliki "`new Vector3 (0f, 0f, 20f)`" maka posisi "z" pada *animation* produk ini akan berotasi dan memiliki kecepatan berotasi 20. `* Time.deltaTime);` akan membuat objek bergerak pada kecepatan yang sama disetiap *device* yang digunakan. Dieng akan terlihat. Produk yang dihasilkan dari *C# Script* untuk *Unity 3D* adalah rotasi dari visualisasi Kompleks Candi Arjuna Dieng pada *Augmented Reality (AR)*.

- c. **Backsound**, pada pengolahan di dalam *software Unity 3D* *backsound* digunakan sebagai media audio yang memuat informasi dari visualisasi Kompleks Candi Arjuna Dieng. *Backsound* berdurasi 3 menit 38 detik dan berkualitas cukup baik. *Backsound* bersifat interaktif karena media audio merupakan media yang dapat didengar.
- d. **Build APK, Augmented Reality (AR)** yang sudah diolah dan sudah berbentuk produk untuk divisualisasikan akan ditampilkan secara virtual menggunakan *device Android*. Produk ini adalah hasil akhir dari penelitian yang dilakukan. Hasil akhir berupa produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi (Kompleks Candi Arjuna Dieng) yang di virtualisasikan menggunakan *Augmented Reality (AR)* dan dapat dijadikan sebagai media dalam berbagai macam kegiatan yang berkaitan dengan informasi.

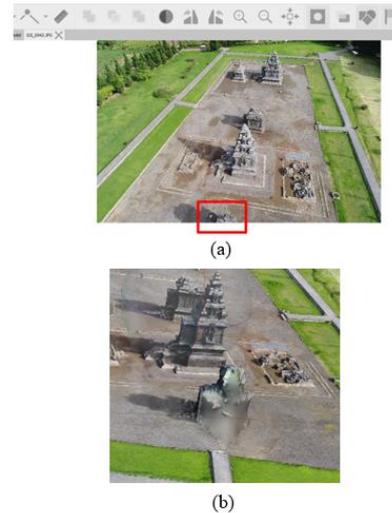
Produk dari fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi yang sudah dapat dikombinasikan adalah produk yang memiliki kualitas baik. Hal ini, berpengaruh untuk pemvisualisasian menggunakan dunia virtual karena objek

akan digunakan sebagai media dalam menyampaikan informasi harus jelas dan memuat data yang valid. Gambar 9 merupakan hasil dari pengolahan produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi dengan *Augmented Reality (AR)* pada *software Unity3D*.



Gambar 9 Hasil *Markerless Augmented Reality (AR)* pada *Unity3D*.
Sumber: Pengolahan Pribadi

Produk yang dihasilkan sebuah teknologi interaksi yang dapat dijadikan sebagai media dalam menyampaikan informasi kepada pengguna. Produk yang dihasilkan ini merupakan hasil kombinasi dari dua sumber yang berbeda. Metode fotogrametri, merupakan metode yang cukup efisien untuk melakukan pemodelan 3 (Tiga) Dimensi. Hal ini dibuktikan dengan produk yang dihasilkan pada penelitian ini. Wahana (Drone DJI Phantom 4 Pro) yang digunakan untuk menghasilkan produk fotogrametri sangat mudah dioperasikan karena menggunakan metode terbang Circular dengan autopilot yang ada pada Pix4D. Proses akuisisi dilakukan dengan ketinggian ± 40 Meter. Metode terbang Circular, tinggi terbang, angle kamera saat terbang memiliki kekurangan yaitu menyebabkan distorsi pada hasil akuisisi dan akan berpengaruh terhadap kualitas model 3 (Tiga) Dimensi. Pada Gambar 10 di bawah merupakan salah satu contoh distorsi yang terjadi pada saat melakukan akuisisi data Kompleks Candi Arjuna Dieng.



Gambar 10 Penyebab kurang sempurnanya produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi
Sumber: Pengolahan Pribadi

Gambar 10 (a) menunjukkan bahwa kamera tidak mencakup seluruh wilayah yang akan dimodelkan kedalam 3 (Tiga) Dimensi. **Gambar 10 (b)** merupakan hasil akhir dari pengolahan pada *software Agisoft Metashape* yang juga merupakan akibat dari kurangnya cakupan wilayah akuisisi data dan distorsi sehingga menyebabkan objek tidak terbentuk sempurna. Salah satu cara untuk meminimalisir kurangnya wilayah cakupan adalah dengan memperhatikan metode terbang dan *Area of Interest (AoI)* pada saat melakukan akuisisi. Hal ini akan mengakibatkan kurang terlihat jelasnya tekstur dan bentuk pada objek.

Pengolahan pada *software Agisoft Metashape* adalah salah satu hal yang sangat berpengaruh terhadap produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi yang akan dihasilkan. Pada produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi Candi Arjuna Dieng rata-rata kualitas pada pengolahan adalah dengan menggunakan kualitas tinggi yaitu *medium* sampai dengan *higest*. Proses *Alignment Photo* yang menggunakan *setting 60,00 Key Point Limit* akan menghasilkan *point-point* yang cukup rapat dan berpengaruh terhadap proses selanjutnya. Hasil yang berupa model 3 (Tiga) Dimensi Kompleks Candi Arjuna

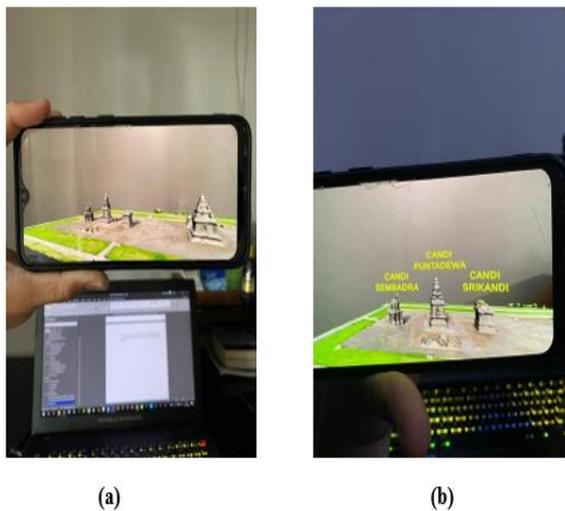
Dieng akan nampak seperti keadaan yang sebenarnya pada permukaan bumi dikarenakan proses yang memiliki kualitas tinggi tersebut. Terlebih, jika objek ini akan dijadikan sebagai media dalam menyampaikan informasi kepada pengguna. Maka, Kompleks Candi Arjuna Dieng sudah seharusnya diakuisisi dengan baik dan diolah dengan kualitas yang tinggi agar penerima informasi mendapatkan pengalaman visualisasi yang baik.

Visualisasi pada produk penelitian ini dibuat menarik dengan menambahkan teknologi interaksi di dalamnya. Teknologi interaksi pastinya membuat alat atau *device* yang digunakan bersifat interaktif dengan pengguna. *Augmented Reality (AR)* adalah teknologi interaksi yang digunakan dalam produk penelitian ini. *Augmented Reality (AR)* yang diolah dengan menggunakan *software Unity 3D* dibuat dengan tidak menggunakan *marker* atau biasa disebut dengan *Markerless Augmented Reality (AR)*. Pada produk *Augmented Reality (AR)* memiliki kekurangan dan kelebihan.

Kekurangan pada produk *Markerless Augmented Reality (AR)* yaitu posisi kamera yang harus berada pada suatu *angle/sudut* pandang kamera tertentu tergantung dari pengaturan yang dilakukan terhadap posisi kamera. Pengaturan *angle/sudut* pandang kamera masih belum ditemukan secara jelas. Namun, dengan *Markerless Augmented Reality (AR)* ini dapat mendukung produk fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi sehingga menjadi sebuah media dalam menyampaikan informasi dengan visualisasi yang baik. Sedangkan salah satu kelebihan pada *Markerless Augmented Reality (AR)* yaitu bersifat fleksibel atau dapat digunakan dimana saja, kapan saja dan oleh siapa saja tanpa harus menggunakan *marker*. Komponen-komponen seperti animasi dan *background* juga ditambahkan kedalam produk ini sehingga dapat menambah interaksi antara pengguna dengan perangkat. Animasi digunakan agar model 3 (Tiga) Dimensi yang divisualisasikan terlihat secara 360°. Hal ini ditujukan agar pada saat produk dijadikan sebagai media dalam menyampaikan informasi, penerima

informasi atau pengguna dapat memiliki kepuasan visual ketika melihat objek secara detail atau keseluruhan. Sedangkan, *background* digunakan sebagai media audio untuk informasi yang memuat data valid terkait dengan model 3 (Tiga) Dimensi Kompleks Candi Arjuna Dieng. Hal ini ditujukan agar ketika proses pemvisualisasian berlangsung, produk *Markerless Augmented Reality (AR)* dapat memberikan pengalaman visual yang bersifat interaktif dan informatif.

Proses dalam menyampaikan informasi yang menggunakan teknologi sebagai medianya akan sangat memudahkan untuk seluruh penerima informasi/pengguna (*User*). Media informasi yang menggunakan objek 3 (Tiga) Dimensi (Kompleks Candi Arjuna Dieng) dan *Augmented Reality (AR)* menampilkan seluruh informasi atau data yang ada pada bentuk fisik objek tersebut. Dalam media informasi yang menampilkan visualisasi objek tersebut akan memuat informasi yang *visible* (mudah dilihat, jelas, dan memiliki keterbacaan tinggi), menarik (memuat pesan yang tersampaikan dengan baik) dan berguna (sebagai alat untuk mencapai tujuan dalam menyampaikan informasi yang diinginkan dan menjaga keberlangsungan proses pemvisualisasian). Informasi-informasi terkait dengan model 3 (Tiga) Dimensi dari Kompleks Candi Arjuna Dieng yang digunakan sebagai media dalam penyampaian informasi dipaparkan seiring dengan bekerjanya produk dari penelitian ini. Informasi berupa data sejarah awal ditemukan, kondisi pada saat awal ditemukan, oleh siapa situs tersebut ditemukan dan beberapa fakta sejarah lainnya dari Kompleks Candi Arjuna Dieng. Produk fotogrametri yang diintegrasikan dengan teknologi *Augmented Reality (AR)* akan memvisualisasikan sebuah objek 3 (Tiga) Dimensi yang bersifat interaktif dan informatif.



Gambar 11. Produk dari penelitian Pemanfaatan Fotogrametri untuk Model 3 Dimensi dengan Visualisasi menggunakan Augmented Reality (AR)

4. Simpulan

Setelah menyelesaikan Penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Fotogrametri untuk Model 3 Dimensi dengan Visualisasi Menggunakan Teknologi Augmented Reality (AR)” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknologi fotogrametri dapat dimanfaatkan sebagai media dalam melakukan pemodelan 3 (Tiga) Dimensi pada objek eksisting pada permukaan bumi. Pemanfaatan ini dilakukan untuk mengintegrasikan foto dengan komputer agar memiliki informasi digital sehingga dapat menampilkan visualisasi dengan keadaan objek sebenarnya yang ada pada permukaan bumi.
2. Teknologi fotogrametri yang sudah terdigitalisasi dapat dengan mudah diakses dengan dikombinasikan dengan teknologi interaksi yaitu Augmented Reality (AR). Model 3 (Tiga) Dimensi dari Kompleks Candi Arjuna Dieng yang diintegrasikan dengan teknologi Augmented Reality (AR) juga menjadikan objek tersebut bersifat interaktif, informatif dan lebih mudah diakses.

3. Produk yang dihasilkan adalah Markerless Augmented Reality (AR) yang bersifat fleksibel. Sebuah produk yang merupakan kombinasi dari dua sumber yang berbeda yaitu produk dari fotogrametri digital 3 (Tiga) Dimensi dan produk Augmented Reality (AR). Produk yang sudah dikombinasikan ini juga dapat dimanfaatkan dalam berbagai kegiatan ilmiah dan berperan sebagai media dalam penyampaian informasi.

Daftar Rujukan

- Adami, F. Z., & Budihartanti, C. (2016). *PENERAPAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY PADA MEDIA PEMBELAJARAN SISTEM PENCERNAAN BERBASIS ANDROID. 1*, 10.
- Ananda, T. A., Safriadi, N., & Sukanto, A. S. (2015). *Penerapan Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Mengenal Planet-Planet Di Tata Surya. 1*(1), 6.
- Ardhianto, E. (2012). *Augmented Reality Objek 3 Dimensi dengan Perangkat Artoolkit dan Blender. 17*, 11.
- Arias, P., Carlos Caamaño, J., Lorenzo, H., & Armesto, J. (2007). 3D Modeling and Section Properties of Ancient Irregular Timber Structures by Means of Digital Photogrammetry. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22*(8), 597-611. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2007.00512.x>
- Caroti, G., Piemonte, A., & Nespoli, R. (2017). UAV-Borne photogrammetry: A low cost 3D surveying methodology for cartographic update. *MATEC Web of Conferences, 120*, 09005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712009005>
- Fraser, C. S., & Hanley, H. B. (2004). *DEVELOPMENTS IN CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY FOR 3D*

- MODELLING: THE iWitness EXAMPLE. 4.
- Gruen, A., Zhang, Z., & Eisenbeiss, H. (2012). UAV PHOTOGRAMMETRY IN REMOTE AREAS – 3D MODELING OF DRAPHAM DZONG BHUTAN. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B1*, 375–379. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-375-2012>
- Hadi, R. H., Abed, F. M., & Mustafa, M. T. (2019). Virtual Reality Urban Modeling from Hybrid Image-based Sensors. *Scholars Journal of Engineering and Technology*, 10. <https://doi.org/10.21276/sjet.2019.7.5.4>
- Husna, S. N., Subiyanto, S., & Hani'ah. (2016). PENGGUNAAN PARAMETER ORIENTASI EKSTERNAL (EO) UNTUK OPTIMALISASI DIGITAL TRIANGULASI FOTOGRAMETRI UNTUK KEPERLUAN ORTOFOTO. 5, 10.
- Ihsan, M., & Sugandi, D. (2018). PEMANFAATAN PRODUK FOTOGRAMETRI DIGITAL UNTUK MEDIA PEMBELAJARAN. 10.
- Jamun, Y. M. (2018). DAMPAK TEKNOLOGI TERHADAP PENDIDIKAN. 10, 5.
- Martono, K. T. (2011). *Augmented Reality Sebagai Metafora Baru dalam Teknologi Interaksi Manusia dan Komputer*. 5.
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Nurchahyo, D. E., Hantono, B. S., & Selo. (2015). PEMANFAATAN AUGMENTED REALITY DALAM DUNIA PENDIDIKAN UNTUK MEMPELAJARI ANATOMI TUBUH MANUSIA BERBASIS ANDROID. 6.
- Prastyo, D., & Subiyanto, S. (2012). *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo*. 1.
- Pratomo, D. G., Mulyono, Y. E. R., & Yuwono. (2018). REKONSTRUKSI MODEL 3D CANDI JAWI DENGAN METODE STRUCTURE FROM MOTION (SFM) FOTO UDARA. 7.
- Purwanto, T. H. (2017). Pemanfaatan Foto Udara Format Kecil untuk Ekstraksi Digital Elevation Model dengan Metode Stereoplotting. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(1), 73. <https://doi.org/10.22146/mgi.24246>
- Putra, A. R. (2016). PEMODELAN 3D DENGAN MENGGUNAKAN METODE STRUCTURE FROM MOTION DAN TERRESTRIAL LASER SCANNING. 102.
- Rachma, Y. S., Prasetyo, Y., & Yuwono, B. D. (2018). ANALISIS AKURASI KETELITIAN VERTIKAL MENGGUNAKAN FOTO UDARA HASIL PEMOTRETAN PESAWAT TANPA AWAK UNTUK PEMBENTUKAN DIGITAL TERRAIN MODEL (DTM). 7, 10.
- Raharjana, D. T. (2012). MEMBANGUN PARIWISATA BERSAMA RAKYAT: KAJIAN PARTISIPASI LOKAL DALAM MEMBANGUN DESA WISATA DI DIENG PLATEAU. 2(3), 13.
- Saputro, R. E., & Saputra, D. I. S. (2015). Pengembangan Media Pembelajaran Mengenal Organ Pencernaan Manusia Menggunakan Teknologi Augmented Reality. *Jurnal Buana Informatika*, 6(2). <https://doi.org/10.24002/jbi.v6i2.404>
- Saragih, B. F., Prasetyo, D. Y., & Sasmito, B. (2015). IDENTIFIKASI MANIFESTASI PANAS BUMI DENGAN MEMANFAATKAN KANAL THERMAL PADA CITRA LANDSAT (STUDI KASUS : KAWASAN DIENG). 4, 9.
- Seker, Z. D., & TOZ, G. (2006). TARIHI KÖPRÜLERIN DIGITAL FOTOGRAMETRI TEKNIGI YARDIMIYLA MODELLENMESI.
- Sihite, B., Samopa, F., & Sani, N. A. (2013). *Pembuatan Aplikasi 3D Viewer Mobile dengan Menggunakan Teknologi Virtual Reality*. 2(2), 4.
- Smith, M. W., Carrivick, J. R., & D.J, Q. (2016). Structure from motion photogrammetry in physical

- geography. *The Author(s)*, Vol. 40(2), 247–275.
<https://doi.org/10.1177/0309133315615805>
- Sondang, V. A. (2017). *PEMBUATAN MODEL ORTOFOTO HASIL PERKAMAN DENGAN WAHANA UAV MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK FOTOGRAMETRI*. 6(02), 5.
- Suryani, N. (2016). PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN SEJARAH BERBASIS IT. *Sejarah dan Budaya : Jurnal Sejarah, Budaya, dan Pengajarannya*, 10(2), 186–196.
<https://doi.org/10.17977/um020v10i22016p186>
- Suwardhi, D., Menna, F., Remondino, F., Hanke, K., & Akmalia, R. (2015). Digital 3D Borobudur – Integration of 3D surveying and modeling techniques. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W7, 417–423.
<https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-417-2015>
- Syauqani, A., Subiyanto, S., & Suprayogi, A. (2017). *PENGARUH VARIASI TINGGI TERBANG MENGGUNAKAN WAHANA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) QUADCOPTER DJI PHANTOM 3 PRO PADA PEMBUATAN PETA ORTHOFOTO (STUDI KASUS KAMPUS UNIVERSITAS DIPONEGORO)*. 6, 9.
- Yohan, A., Gunadi, K., & Liliana. (2012). *APLIKASI DETEKSI GERAK DALAM AUGMENTED REALITY* (Research Report 126/Pen/Informatika/I/2012; p. 65). Universitas Kristen Petra.
<https://en.climate-data.org/asia/indonesia/dieng/dieng-623617/>
<https://www.dji.com/>
<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115002496226-iOS-Circular-Mission-Settings>
<https://www.seilergeo.com/aerial-mapping-uav-drones/>
<https://www.idntimes.com/>