

## Pemanfaatan UAV dengan Sensor Kamera dan Lidar untuk Pemetaan Situs Cagar Budaya Kawasan Candi Prambanan

*Leveraging UAV with Camera and LIDAR sensor for Mapping of Cultural Heritage Sites in the Prambanan Temple Area*

**Erlyna Nour Arrofiqoh\*, Rochmad Muryamto, Dhiha Afyanti, Siti Chikal Azizah, Dicky Satria Kresnawan, Amelinda Nuron Fabiola**

Program Sarjana Terapan Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Departemen Teknologi Kebumihan Sekolah Vokasi-UGM, Sekip Unit 1, Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta, 55281, Indonesia

\*Korespondensi penulis: erlyna\_na@mail.ugm.ac.id

Diterima: 18072021; Diperbaiki: 19112021; Disetujui: 30112021; Dipublikasi: 10042022

**Abstrak:** Kawasan Candi Prambanan merupakan situs warisan cagar budaya yang harus dirawat dan dilindungi keberadaannya. Wilayah yang dilintasi patahan tektonik aktif yaitu sesar Opak, membuat wilayah ini memiliki kerentanan yang tinggi terhadap kerusakan karena gempa bumi. Untuk mendukung pelestarian kawasan cagar budaya, diperlukan pendokumentasian kawasan cagar budaya yang dapat merekam kondisi objek dengan baik untuk kepentingan inventarisasi. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah memotret kawasan candi Prambanan dengan menggunakan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*). Semakin berkembangnya teknologi, UAV tidak hanya dapat membawa sensor kamera tetapi juga dapat membawa sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pemanfaatan teknologi UAV yang membawa sensor kamera dan LIDAR untuk pemetaan situs cagar budaya di kawasan Candi Prambanan dan mengetahui potensi hasil *point cloud* pengolahan data dari kamera dan LIDAR untuk pemodelan 3D. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemotretan kawasan Candi Prambanan menghasilkan foto udara dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Resolusi yang dihasilkan dari proses pemotretan udara kawasan Candi Prambanan adalah 8 mm. Foto udara tersebut dapat dimanfaatkan untuk pemetaan skala detail yaitu 1:1000. Hasil *point cloud* dari LIDAR dapat memberikan tampilan geometri 3 dimensi. Bagian atas candi yang tinggi menjulang dapat terekam dengan cukup baik dari *point cloud* LIDAR dibandingkan *point cloud* dari hasil pengolahan foto udara meskipun jumlah *point cloud* dari pengolahan foto lebih banyak dibandingkan *point cloud* dari LIDAR.

*Copyright © 2022 Geoid. All rights reserved.*

**Abstract:** The Prambanan Temple area is a cultural heritage site that must be treated and protected. The area is crossed by an active tectonic fault. Opak fault makes this area have high vulnerability to earthquake damage. To support the preservation of cultural heritage areas, it is necessary to record cultural heritage areas for inventory purposes. One alternative way is to capture the Prambanan temple area using UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) technology. As technology develops, UAVs can carry not only camera sensor but also carry LIDAR (*Light Detection and Ranging*) sensor. This study is intended to determine utilization of UAV technology that carries camera and LIDAR sensor for mapping cultural heritage sites in the Prambanan Temple area and to determine the potential results of *point cloud* data processing from camera and LIDAR for 3D modeling. The results of the study show that capturing the Prambanan Temple area produces aerial photos with a high level of accuracy. The image resolution from the aerial photo in the Prambanan Temple area is 8 mm. Based on geometry precision, the aerial photo can be used for detailed mapping in 1:1000. The result of *point cloud* from LIDAR can provide a 3-dimensional geometric appearance. The high top of the temple can be recorded quite well from the LIDAR *point cloud* compared to the *point cloud* from aerial photo processing, although the number of *point clouds* from photo processing is denser than the *point cloud* from LIDAR.

Kata kunci: cagar budaya, Candi Prambanan, UAV, LIDAR, *point cloud*

---

Cara untuk sitasi: Arrofiqoh, E. A., Muryamto, R., Afyanti, D., Azizah, S. C., Kresnawan, D. S., & Fabiola, A. N. (2022). Pemanfaatan UAV dengan Sensor Kamera dan Lidar untuk Pemetaan Situs Cagar Budaya Kawasan Candi Prambanan. *Geoid*, 17 (2), 176-184.

---

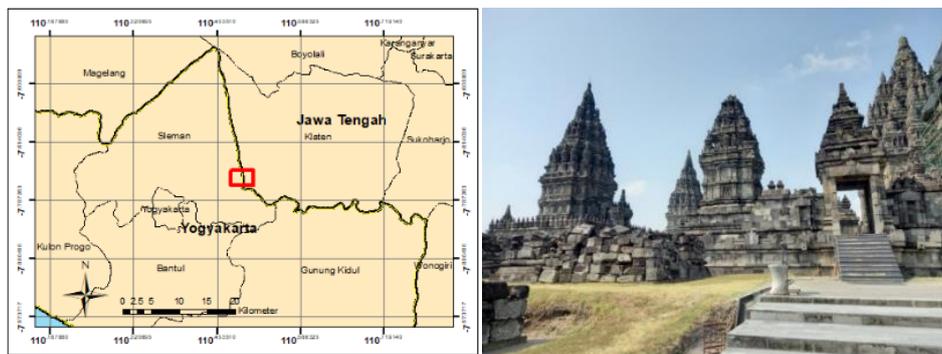
## Pendahuluan

Candi Prambanan dibangun pada abad ke-9 Masehi oleh raja-raja Dinasti Sanjaya. Candi Prambanan merupakan candi agama Hindu terbesar di Indonesia dan tercatat menjadi salah satu warisan dunia oleh UNESCO (Nieamah, 2014). Peninggalan sejarah ini perlu dirawat dan dilestarikan keberadaannya karena memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan kebudayaan. Pelestarian Candi Prambanan sebagai cagar budaya dilakukan dengan cara mempertahankan keberadaan cagar budaya dan nilainya melalui perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan (UU Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya). Wilayah studi dipilih berdasarkan kepentingan sebagai cagar budaya yang perlu dilestarikan. Wilayah yang dilintasi patahan tektonik aktif yaitu sesar Opak membuat wilayah ini memiliki kerentanan yang tinggi terhadap kerusakan karena gempa bumi. Pemetaan Candi Prambanan merupakan salah satu upaya untuk melestarikan cagar budaya. Pembaharuan peta Candi Prambanan dapat untuk mengetahui kondisi terkini bangunan candi. Teknologi pesawat tanpa awak atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) untuk melakukan survei pemetaan dengan membawa sensor kamera merupakan salah satu cara untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi Candi Prambanan. Dewasa ini, teknologi UAV semakin berkembang dengan cepat (Agudo et al., 2018). Pesawat UAV atau drone tidak hanya dapat membawa sensor kamera saja, tetapi juga sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Teknologi LIDAR merupakan pemindaian laser yang menghasilkan data 3 dimensi berupa *point cloud*. LIDAR adalah sensor aktif yang dapat memancarkan laser *infrared* dan mengukur respon pantulan kembali ke sensor. Apabila dikombinasikan dengan penentuan lokasi yang presisi dan informasi kecepatan, maka dapat digunakan untuk mengukur detil topografi dengan ketelitian tinggi (Fernandez-Diaz et al., 2014).

Penggunaan teknologi UAV untuk pemetaan memiliki beberapa keunggulan diantaranya pengoperasian yang mudah, proses yang cepat dan efisien. Pemetaan dengan wahana UAV juga dapat mengurangi biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk akuisisi data (Waagen, 2019). Akuisisi data LIDAR dengan UAV tidak perlu menggunakan pesawat terbang berawak yang cukup menyita biaya dan tidak perlu menggunakan perizinan khusus dengan ketentuan bahwa ketinggian terbang masih berada pada batas tinggi terbang yang diperbolehkan. Ketinggian terbang yang relatif rendah dapat membuat UAV dapat mengambil gambar lebih dekat dengan objek yang diukur sehingga objeknya menjadi lebih jelas. Selain itu ketinggian terbang UAV berada di bawah tutupan awan sehingga hasil fotonya tidak tertutup oleh awan dan tidak perlu memerlukan koreksi atmosfer seperti pada citra satelit (Jayathunga et al., 2018). Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan peta 2D dan mengetahui potensi dari *point cloud* yang diperoleh dari LIDAR dan foto udara untuk pembuatan model 3D dalam kegiatan pendokumentasian bangunan bersejarah Candi Prambanan yang memiliki karakter unik, yaitu bangunan tinggi menjulang, meruncing dan memiliki banyak detil.

## Data dan Metode

Lokasi penelitian ini berada di kawasan Candi Prambanan. Candi Prambanan merupakan salah satu objek wisata di Yogyakarta terletak di Jalan Raya Jogjakarta-Solo Km 17. Candi ini terletak di perbatasan antara propinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya di desa Prambanan yang wilayahnya terbagi antara Kabupaten Sleman dan Kabupaten Klaten. Gambar 1 merupakan wilayah lokasi penelitian.



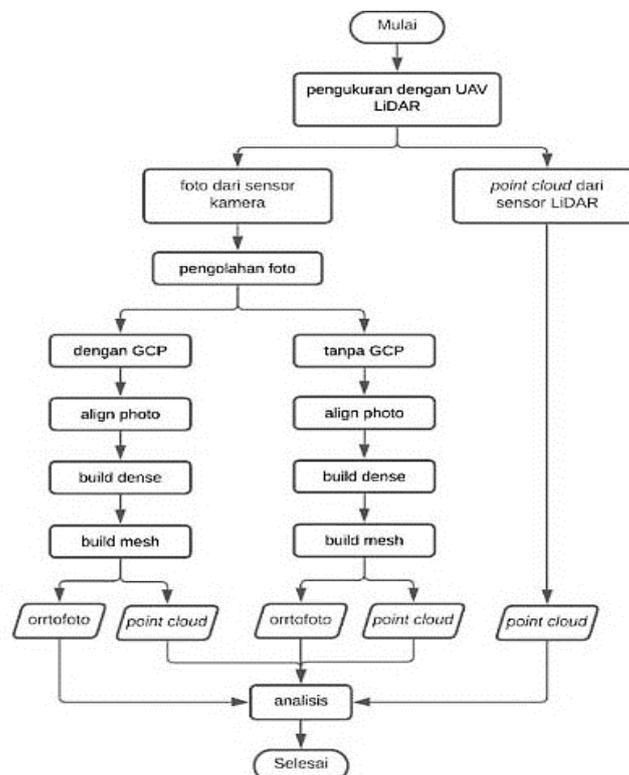
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengukuran data di lapangan dilakukan pada bulan Agustus 2020. Secara umum, metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan, akuisisi data, pengolahan data, analisis dan penyajian data. Tahapan persiapan meliputi persiapan peralatan, perizinan lokasi, penentuan *area of interest* (AOI) dan perencanaan jalur terbang. Peralatan yang disiapkan berupa satu unit GPS Geodetik dan satu unit UAV atau drone yang dilengkapi dengan sensor kamera dan LIDAR yang dibawa secara bersamaan dalam satu wahana sehingga waktu perekaman dari kedua sensor sama. Wahana UAV yang digunakan dalam penelitian ini adalah mdMAPPER 1000DG yang merupakan wahana jenis multirotor copter dengan empat baling-baling. Akuisisi data menggunakan sensor kamera digital Sony RX1R II dengan resolusi 42,4 megapiksel (MP). UAV ini juga dilengkapi dengan sensor GNSS/INS untuk mendukung metode *direct georeferencing*, sehingga saat akuisisi tidak perlu menggunakan banyak titik kontrol untuk penentuan posisi (Gabrlik, 2015). Gambar dari teknologi UAV yang digunakan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Wahana Lidar UAV

Pada lokasi penelitian sudah terdapat beberapa titik kontrol untuk kepentingan analisis deformasi candi. Metode penentuan posisi saat akuisisi data menggunakan *direct georeferencing* dengan menggunakan GPS geodetik yang ditempatkan pada salah satu titik kontrol sebagai *base* untuk mengontrol posisi UAV saat di udara. *Direct georeferencing* merupakan pendekatan tanpa menggunakan GCP (*Ground Control Point*) dan menggunakan posisi sensor untuk georeferensi (Carbonneau & Dietrich, 2017). Kelebihan dari metode *direct georeferencing* adalah dapat menekan biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk akuisisi data karena tidak perlu lagi menggunakan banyak GCP untuk pengolahan data. Proses akuisisi data dilakukan oleh seorang pilot. Pilot bertugas untuk menerbangkan UAV pada ketinggian terbang  $\pm 60$  meter di atas permukaan tanah, kemudian memotret wilayah kajian dengan menggunakan mode auto, selanjutnya mendaratkan UAV. Data dari sensor *download* dan proses berikutnya adalah pengolahan data. Secara umum, diagram alir penelitian disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini membandingkan pengaruh metode *direct georeferencing* pada pengolahan foto udara. Oleh karena itu terdapat dua proses pengolahan foto udara, yaitu dengan memasukkan titik kontrol dan tanpa memasukkan titik kontrol. Pengolahan foto udara dilakukan dengan menggunakan software Agisoft Metashape. Foto udara yang diperoleh dari sensor kamera kemudian diolah menggunakan teknik SfM (*Structure from Motion*) (Leberl et al., 2010). Teknik SfM menggunakan banyak gambar dari sudut yang berbeda untuk mengidentifikasi fitur geometris suatu objek dengan baik dan dapat menghasilkan data 3D *point cloud* (Jones & Church, 2020). Proses pengolahan foto dimulai dari *align foto* dimana posisi dan orientasi kamera setiap foto ditemukan dan membentuk *sparse point cloud* dari titik yang mirip atau bersesuaian antar foto. Kemudian *build dense* yang merupakan perapatan dari *point cloud* yang terbentuk sebelumnya. Dari *point cloud* yang rapat kemudian dilakukan proses *build mesh*, yaitu merekonstruksi *point cloud* sehingga terbentuk model permukaan. Hasil akhir dari pengolahan foto menghasilkan foto udara mozaik (ortofoto) dan 3D *point cloud* (De Reu et al., 2013).

## Hasil dan Pembahasan

Akuisisi data terdiri dari tiga tahapan, yaitu perencanaan jalur terbang, pemasangan *base* titik kontrol, dan penerbangan UAV. Pada tahapan perencanaan jalur terbang dilakukan dengan menggunakan software simulasi terbang yang kemudian digunakan untuk pemotretan secara auto. Parameter yang dibutuhkan pada proses ini adalah ketinggian terbang, radius liputan area, dan overlap foto. Total foto udara yang dihasilkan dari akuisisi data ini berjumlah 265 foto. Proses akuisisi data di lapangan dapat dilihat pada Gambar 4.



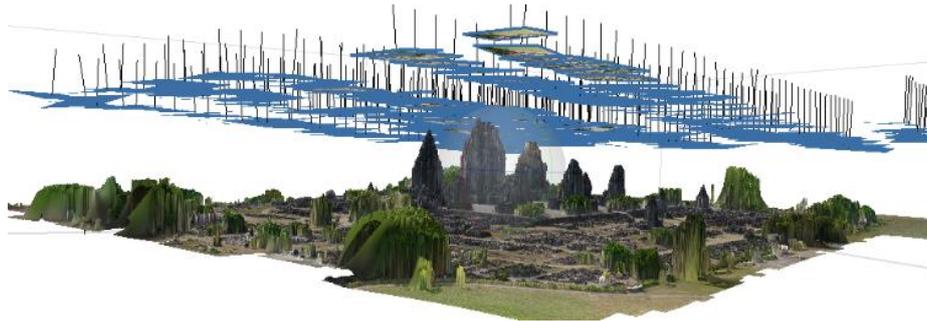
Gambar 4. Akuisisi Data

Pada pengolahan foto udara dengan memasukkan nilai titik kontrol, dipilih tiga titik yang digunakan sebagai GCP dan dua titik digunakan sebagai titik cek atau ICP (*Independent Control Point*). Hasil foto dari sensor kamera memberikan hasil yang jelas sehingga titik kontrol dapat terlihat dengan baik walaupun tidak diberi penanda saat akuisisi data di lapangan. Gambar 5 merupakan gambar titik kontrol yang digunakan untuk pemrosesan.



Gambar 5. Titik Kontrol yang Terlihat pada Foto Udara Hasil Akuisisi Data

Proses memasukkan GCP atau tidak memasukkan GCP merupakan tahapan awal pengolahan data, untuk selanjutnya adalah tahapan *align photo*. Tahapan *align photo* untuk identifikasi *point cloud* secara otomatis berdasarkan pada kesamaan nilai piksel pada foto udara. Tahapan selanjutnya merupakan pembentukan geometri dimana hasil *point cloud* dari proses *alignment* dilakukan perapatan titik kemudian diproses menjadi jaringan segitiga TIN (*Triangle Irregular Network*) sehingga terbentuk model 3D. Hasil pembentukan model 3D dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Pembentukan Model 3D

Total kesalahan titik cek pada pengolahan data dengan memasukkan nilai GCP dan tanpa memasukkan nilai GCP disajikan pada tabel 1. Perbedaan total kesalahan dari kedua metode pemrosesan data memberikan hasil yang cukup signifikan. Total kesalahan dengan memasukkan nilai GCP memberikan ketelitian dalam fraksi centimeter, sedangkan total kesalahan tanpa memasukkan nilai GCP memberikan ketelitian dalam fraksi meter. Selisih total kesalahan kedua data adalah 14,7520 meter. Pada pengolahan data tanpa memasukkan nilai GCP diperoleh kesalahan yang cukup besar terutama pada koordinat Z.

Tabel 1. Kesalahan pada Titik Cek

Keterangan	Label	X error (cm)	Y error (cm)	XY error (cm)	Z error (cm)	Total error (cm)
Tanpa GCP	PR03	59,800	0,600	59,803	1480,400	1481,607
	S1	61,300	-15,500	63,229	1477,300	1478,653
<b>Total</b>		<b>60,555</b>	<b>10,968</b>	<b>61,540</b>	<b>1478,851</b>	<b>1480,131</b>
Dengan GCP	PR03	0,547	-2,275	2,339	5,966	6,408
	S1	-2,096	0,964	2,307	-1,487	2,745
<b>Total</b>		<b>1,532</b>	<b>1,747</b>	<b>2,323</b>	<b>4,347</b>	<b>4,929</b>

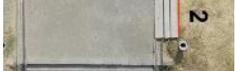
Walaupun terdapat perbedaan posisi koordinat, nilai GSD (*Ground Sampling Distance*) yang dihasilkan dari kedua proses memiliki resolusi yang sama, yaitu sebesar 8 mm. Pada ortofoto terdapat bagian yang masih berlubang, yaitu pada bangunan candi. Hal ini karena kurangnya overlap pada bagian candi yang merupakan bangunan tinggi. Hasil ortofoto dan persebaran titik kontrol dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Ortofoto Hasil Pengolahan dan Persebaran Titik Kontrol

Tabel 2 menyajikan hasil validasi ketelitian panjang objek yang merupakan perbandingan antara panjang objek pada ortofoto dan pengukuran langsung dengan pita ukur di kawasan Candi Prambanan.

Tabel 2. Hasil Validasi Ketelitian Panjang Objek

No	Gambar sampel	Ukuran lapangan (m)	Ukuran ortofoto dgn GCP (m)	Selisih (m)	Akurasi (%)	Ukuran ortofoto tanpa GCP (m)	Selisih (m)	Akurasi (%)
1		5,5	5,48	0,02	99,63%	5,48	0,02	99,63%
2		2	2,01	0,01	99,5%	2,00	0	100%
3		3,5	3,56	0,06	98,28%	3,59	0,09	97,43%
4		7,5	7,55	0,05	99,33%	7,54	0,04	99,46%
5		7,5	7,51	0,01	99,86%	7,49	0,01	99,86%
6		14,3	14,27	0,03	99,79%	14,28	0,02	99,86%
7		2,2	2,22	0,02	99,09%	2,21	0,01	99,54%
8		2,2	2,20	0	100%	2,22	0,02	99,09%
9		3,85	3,86	0,01	99,74%	3,89	0,04	98,96%
10		6,2	6,18	0,02	99,67%	6,16	0,04	99,35%
11		2	2,01	0,01	99,5%	2,02	0,02	99%
12		1,4	1,38	0,07	95%	1,39	0,06	95,71%
13		0,7	0,72	0,02	97,14%	0,72	0,02	97,14%
14		6,85	6,85	0	100%	6,85	0	100%
15		6,85	6,84	0,01	99,85%	6,84	0,01	99,85%

Uji akurasi dilakukan menggunakan metode omisi-komisi untuk mengetahui berapa presentase ketelitian ortofoto. Tujuan penggunaan metode omisi-komisi adalah untuk membandingkan hasil pengukuran suatu objek pada foto udara dan pengukuran di lapangan. Komisi merupakan keadaan dimana hasil interpretasi lebih

panjang/luas dari data lapangan. Omisi adalah keadaan dimana hasil interpretasi lebih pendek/sempit dari data lapangan. Rumus metode omisi-komisi disajikan pada persamaan berikut (Hartono & Darmawan, 2019):

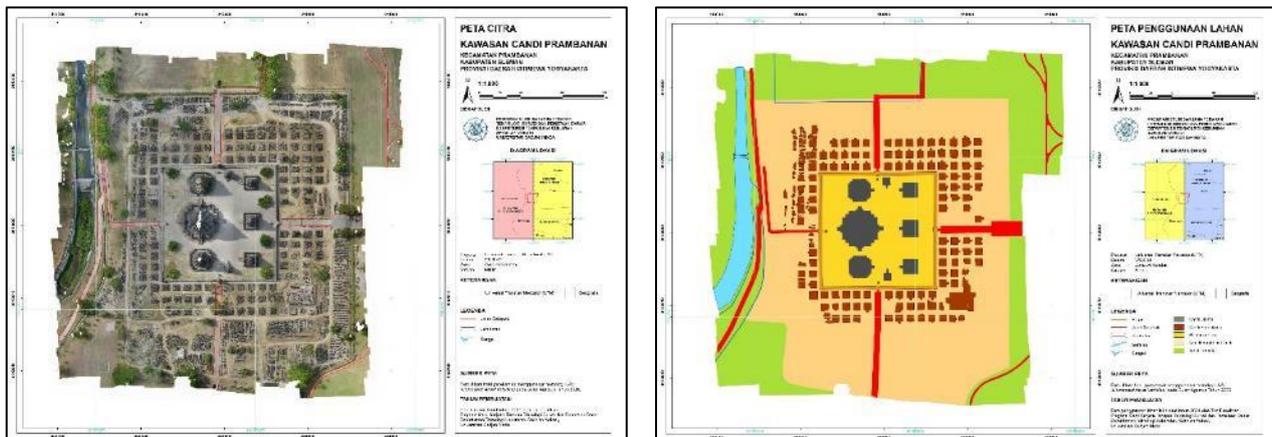
$$Akurasi = \left[ 1 - \left[ \frac{\text{selisih ukuran objek pada foto udara dan ukuran lapangan}}{\text{ukuran lapangan}} \right] \right] \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan tabel validasi ketelitian panjang objek tersebut, diketahui bahwa masing-masing ortofoto memiliki selisih sebesar 0 cm hingga 9 cm. Selisih ukuran yang cukup kecil ini menunjukkan bahwa secara umum bentuk ukuran pada ortofoto mendekati valid. Hasil perhitungan dari metode omisi-komisi dengan lima belas sampel memberikan persentase akurasi di atas 95%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa pengolahan foto udara dengan dan tanpa memasukkan nilai GCP dapat memberikan ukuran bentuk geometri yang mendekati sebenarnya walaupun posisi koordinatnya berbeda. Posisi koordinat ortofoto yang diolah tanpa menggunakan GCP memberikan hasil posisi koordinat yang melenceng jauh jika dibandingkan dengan data perolehan dari LIDAR sehingga pembuatan peta 2D menggunakan ortofoto hasil pengolahan foto udara dengan memasukkan nilai GCP. Hasil kesalahan (RMSE - *Root Mean Square Error*) pada titik uji yang diperoleh dari pengolahan foto sebesar 2,323 cm untuk ketelitian horizontal dan 4,347 cm untuk ketelitian vertikal, sehingga CE90 dan LE90 berdasarkan standar ketelitian geometri Peta RBI pada Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar dengan perubahan berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 tahun 2018 adalah:

$$CE90 = 1,5175 \times 0,0232 \text{ m} = 0,0352 \text{ m}$$

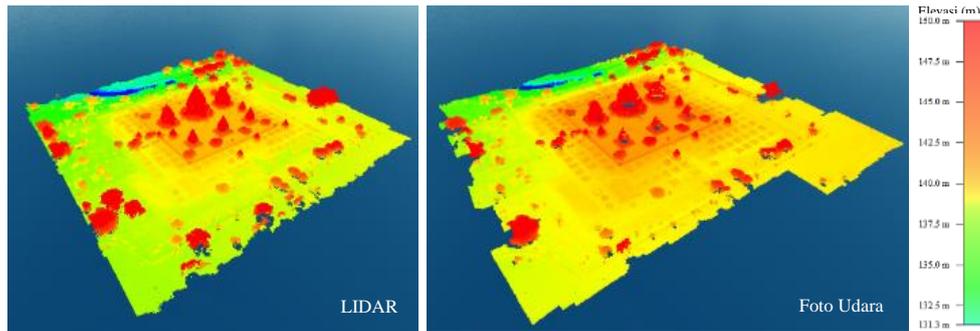
$$LE90 = 1,6499 \times 0,0437 \text{ m} = 0,0721 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil di atas, pemotretan menggunakan drone LiDAR ini diperoleh peta skala 1:1000 dengan ketelitian horizontal masuk ke dalam kelas 1 dan vertikal masuk ke dalam kelas 1. Peta foto dan peta penggunaan lahan kawasan Candi Prambanan disajikan pada Gambar 8.



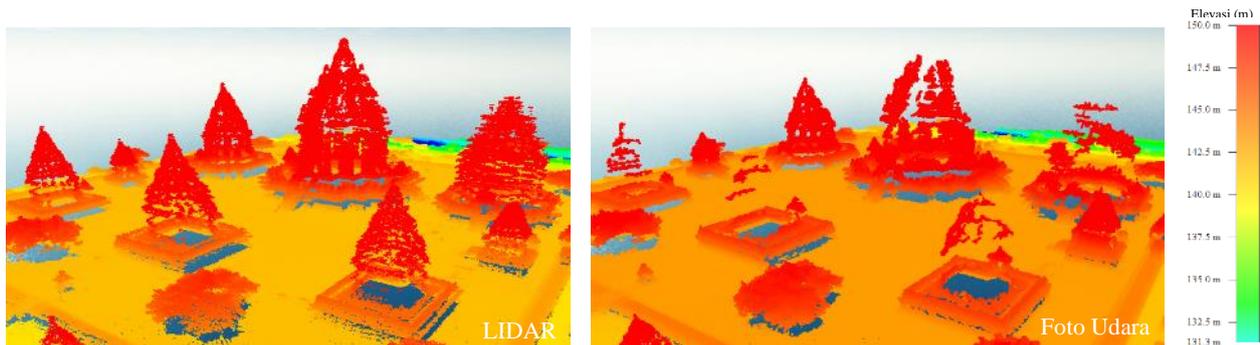
Gambar 8. Peta Citra (kiri) dan Peta Penggunaan Lahan (kanan) Kawasan Candi Prambanan

Selain menghasilkan ortofoto, pengolahan foto udara juga menghasilkan *point cloud*. Hasil *point cloud* dari pengolahan foto udara kemudian dibandingkan dengan *point cloud* LIDAR. Pada gambar 9 disajikan hasil perbandingan *point cloud* dari foto udara dan LIDAR. Hasil *point cloud* dari foto udara memiliki jumlah yang lebih padat dan rapat dibandingkan dengan hasil *point cloud* LIDAR. Keseluruhan jumlah *point cloud* yang terekam oleh LIDAR yaitu 7.697.382 titik, sedangkan jumlah *point cloud* yang terekam oleh foto udara yaitu 132.212.275 titik. Meskipun *point cloud* dari pengolahan foto udara memiliki resolusi yang baik dan memiliki jumlah *point cloud* lebih banyak, namun *point cloud* dari pengolahan foto udara tidak terdistribusi secara merata terutama pada bagian candi. Terdapat bagian candi yang berlubang karena tidak terdapat *point cloud* pada bagian tersebut.



Gambar 9. *Point cloud* dari LIDAR (kiri) dan Foto Udara (kanan)

Karakter bangunan Candi Prambanan yang tinggi menjulang, meruncing dan memiliki banyak detail kurang dapat dipresentasikan dengan baik pada *point cloud* dari foto udara. Perbandingan hasil *point cloud* untuk bagian atas bangunan candi divisualisasikan pada gambar 10. Dapat dilihat pada bagian atas candi dari hasil *point cloud* pengolahan foto udara terdapat objek yang berlubang dan terdapat fitur yang tidak terbentuk dengan baik. Hasil *point cloud* dari LIDAR dapat merekam keseluruhan bentuk candi walaupun jumlah *point cloud* lebih sedikit. Bagian atas candi dapat dipresentasikan dengan lebih baik dibandingkan dengan hasil *point cloud* foto udara. *Point cloud* memiliki titik koordinat posisi 3 dimensi (X,Y,Z) sehingga dapat digunakan untuk membuat pemodelan 3 dimensi candi. Pada penelitian ini posisi perekaman data dengan drone hanya diambil dari bagian atas saja sehingga terdapat objek detail dari bagian tubuh candi yang tidak terekam. Apabila terdapat posisi perekaman dari arah samping yang mengelilingi tubuh candi, maka data tersebut dapat dikombinasikan sehingga dapat digunakan untuk pembuatan model 3 dimensi candi.



Gambar 10. Perbandingan *Point Cloud* dari LIDAR (Kiri) dan Foto Udara (Kanan) pada Bagian Candi

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemetaan dengan menggunakan UAV dengan sensor kamera dan LIDAR dapat membantu pendokumentasian cagar budaya kawasan Candi Prambanan. Penggunaan sensor kamera yang memiliki resolusi tinggi dapat memberikan hasil yang cukup teliti yaitu 8 mm untuk nilai GSD (*Ground Sampling Distance*). Pengolahan foto udara tanpa memasukkan nilai GCP dapat memberikan ukuran bentuk geometrik yang mendekati ukuran aslinya, namun kurang dapat memberikan hasil ketelitian posisi koordinat yang baik terutama pada ketelitian elevasinya sehingga untuk pengolahan foto dengan metode SfM tetap diperlukan GCP. Algoritma SfM efisien untuk rekonstruksi bentuk. Tingkat detail objek tergantung pada kualitas gambar. Tetapi kelemahan dari algoritma SfM adalah kurang dapat merestorasi posisi absolut dan orientasi suatu objek kecuali jika ada titik kontrol. Pengolahan foto udara dengan memasukkan nilai GCP menghasilkan peta dengan skala 1: 1000 dengan ketelitian horizontal dan vertikal yang masuk pada kelas 1. Penggunaan sensor LIDAR dapat memberikan tampilan model 3 dimensi. Namun karena posisi perekaman data hanya diambil dari atas maka terdapat bagian dari tubuh candi yang tidak terekam dengan baik. Penelitian mendatang mencoba untuk menganalisis ketelitian *point cloud* dari pengolahan foto udara dan *point cloud* dari LIDAR yang memiliki karakter berbeda dapat saling melengkapi satu sama lain, serta mencoba untuk menggabungkan keduanya dan mengkombinasikannya dengan *point cloud* dari tubuh candi sehingga data dapat diproses menjadi model 3D.

## Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pengurus Sekolah Vokasi UGM atas bantuan hibah dana penelitian tahun 2021. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada PT Geotronix Indonesia dan Microdrones yang telah memberikan bantuan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian, serta kepada Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) DIY yang telah memberikan perizinan lokasi penelitian.

## Daftar Pustaka

- Agudo, P. U., Pajas, J. A., Pérez-Cabello, F., Redón, J. V., & Lebrón, B. E. (2018). The potential of drones and sensors to enhance detection of archaeological cropmarks: A comparative study between multi-spectral and thermal imagery. *Drones*, 2(3), 1–23. <https://doi.org/10.3390/drones2030029>
- Akbar, H., Sasmito, B., & Wijaya, A. (2014). Pembuatan Peta Foto Dengan Foto Udara Format Kecil Di Kompleks Candi Prambanan Dengan Wahana Pesawat Quadcopter. *Jurnal Geodesi Undip*, 3(4), 37–49.
- Badan Informasi Geospasial. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Carbonneau, P. E., & Dietrich, J. T. (2017). Cost-effective non-metric photogrammetry from consumer-grade sUAS: implications for direct georeferencing of structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landform*, 3(42), 473–486.
- De Reu, J., Plets, G., Verhoeven, G., De Smedt, P., Bats, M., Cherretté, B., De Maeyer, W., Deconynck, J., Herremans, D., Laloo, P., Van Meirvenne, M., & De Clercq, W. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40(2), 1108–1121. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.08.040>
- Fernandez-Diaz, J. C., Carter, W. E., Shrestha, R. L., & Glennie, C. L. (2014). Now you see it... Now you don't: Understanding airborne mapping LiDAR collection and data product generation for archaeological research in Mesoamerica. *Remote Sensing*, 6(10), 9951–10001. <https://doi.org/10.3390/rs6109951>
- Gabrlík, P. (2015). The use of direct georeferencing in aerial photogrammetry with micro UAV. *IFAC-PapersOnLine*, 28(4), 380–385. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.064>
- Hartono, D., & Darmawan, S. (2019). Pemanfaatan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Jenis Quadcopter untuk Percepatan Pemetaan Bidang Tanah (Studi Kasus: Desa Solokan Jeruk Kabupaten Bandung). *Reka Geomatika*, 2018(1), 30–40. <https://doi.org/10.26760/jrg.v2018i1.2655>
- Jayathunga, S., Owari, T., & Tsuyuki, S. (2018). Evaluating the performance of photogrammetric products using fixed-wing UAV imagery over a mixed conifer-broadleaf forest: Comparison with airborne laser scanning. *Remote Sensing*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/rs10020187>
- Jones, C. A., & Church, E. (2020). Photogrammetry is for everyone: Structure-from-motion software user experiences in archaeology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 30(January), 102261. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102261>
- Leberl, F., Irschara, A., Pock, T., Meixner, P., Gruber, M., Scholz, S., & Wiechert, A. (2010). Point clouds: Lidar versus 3D vision. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(10), 1123–1134. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.10.1123>
- Nieamah, K. F. (2014). Persepsi Wisatawan Mancanegara Terhadap Fasilitas Dan Pelayanan Di Candi Prambanan. *Jurnal Nasional Pariwisata*, 6(1), 39–45. <https://doi.org/10.22146/jnp.6875>
- Presiden Republik Indonesia. (2010). UU Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya
- Waagen, J. (2019). New technology and archaeological practice. Improving the primary archaeological recording process in excavation by means of UAS photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, 101(October 2018), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.10.011>



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)