

# **VISUALISASI 3D *MODELLING* DARI HASIL KOMBINASI KAMERA DSLR DAN UAV DENGAN METODE *CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY* PADA OBJEK**

Studi Kasus Objek Plengsengan, Bendungan Sengkaling, Desa Tegalgondo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang

**Marvi Tegar Kafiar<sup>1</sup>, M. Edwin Tjahjadi<sup>2</sup>, Adkha Yuliananda M<sup>3</sup>**

Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Lowokwaru, Malang Telp.(0341) 551431

Email : marvikafiar33@gmail.com

## **ABSTRAK**

Seiring perkembangan zaman maka perolehan data spasial untuk mendapatkan hasil visualisasi 3D yang detail dan akurat semakin berkembang. Fotogrametri adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan pengukuran yang tepat secara matematis dan data tiga dimensi (3D) dari dua atau lebih hasil foto. Biasanya akuisisi data metode fotogrametri jarak dekat hanya menggunakan kamera terestris saja. Namun, pada penelitian ini digunakan UAV sebagai wahana bantu untuk akuisisi data. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data foto vertikal dari wahana UAV dan data foto horisontal dari kamera Nikon 3400kit. Penelitian ini bertujuan untuk menampilkan visualisasi 3D model dari hasil kombinasi menggunakan kamera DSLR dan UAV serta menganalisis ketelitian model 3D kombinasi berdasarkan nilai RMSE.

Dalam penelitian ini data foto vertikal UAV dan data foto horisontal kamera DSLR akan diproses menggunakan *software Agisoft Photoscan Pro V.1.2.4* sehingga menghasilkan visualisasi 3D objek dan analisa ketelitian model 3D. Analisa ketelitian model dilakukan dengan mengamati perbedaan jarak di lapangan dengan yang di *software* sehingga didapatkan perhitungan nilai RMSE yang menjadi acuan dalam analisa terhadap ketiga model.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode *close range photogramethry* menggunakan data kombinasi kamera DSLR dan UAV dapat digunakan untuk pemodelan 3D yang sesuai dengan bentuk asli objek. Berdasarkan hasil perhitungan akurasi model 3D UAV memiliki nilai RMSE sebesar 0.007215 m, model 3D DSLR sebesar 0.007641 m dan model 3D Kombinasi sebesar 0.007366 m. Dari nilai RMSE tersebut dapat dilihat selisih nilai RMSE dari ketiga model 3D tidak terlalu jauh.

**Kata Kunci :** *Close Range Photogrammetry*, DSLR, Model 3D, RMSE, UAV

## PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman maka perolehan data spasial untuk mendapatkan hasil visualisasi 3D yang detail dan akurat semakin berkembang. Penggunaan teknologi untuk mendapatkan data spasial yang baik diperlukan akuisisi data yang tepat. Visualisasi model bangunan 3 dimensi (3D) saat ini dirasakan semakin penting untuk berbagai keperluan, baik untuk pemetaan interaktif, dokumentasi, promosi, dan lain sebagainya (Matthhews, 2008).

Fotogrametri adalah seni dan ilmu untuk mendapatkan pengukuran yang tepat secara matematis dan data tiga dimensi (3D) dari dua atau lebih hasil foto. Teknik fotogrametri dapat diterapkan pada hampir semua sumber pencitraan, apakah itu berasal dari kamera digital 35 mm atau satelit yang mengorbit bumi. Selama gambar yang ditangkap dengan tumpang tindih dan *stereoscopic*, seseorang dapat memperoleh data 3D yang akurat pada rentang skala yang sangat luas (Wolf, 1993).

Fotogrametri jarak dekat merupakan metode fotogrametri non pemetaan, metode ini dapat dilakukan dengan alokasi dana yang terjangkau. Namun, kekurangannya adalah setiap objek yang menghalangi fasad gedung akan ikut terbentuk pada hasil model 3D. Biasanya akuisisi data metode fotogrametri jarak dekat hanya menggunakan kamera terestris saja. Namun, pada penelitian ini digunakan UAV sebagai wahana bantu untuk akuisisi data (Fadjire, 2015).

Metode fotogrametri jarak dekat yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan kamera DSLR. Pengolahan CRP (*Close Range Photogrammetry*) dapat menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscanner*. Metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan jika jarak antara objek dengan kamera kurang dari 100 m sampai 300 m. Kamera foto ini mudah dicapai sehingga dapat dilakukan pengukuran langsung untuk memperoleh posisi pemotretan. Dalam teknik CRP, kualitas dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen dari kamera agar diperoleh ukuran lebih. Teknik ini ini mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau dan atau memiliki dimensi yang kecil (Atkinson, 1996 & Harahap, 2015).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana cara pembentukan 3D model objek dengan metode CRP mencoba menggabungkan pemotretan udara menggunakan wahana UAV dengan pemotretan menggunakan kamera DSLR. Keuntungan data UAV mendapatkan pandangan data yang luas dari tampak atas. Sedangkan keuntungan dari kamera DSLR mendapatkan sudut pandang objek dari arah samping. Maka kelebihan kedua model tersebut dimanfaatkan untuk membuat model 3D dan sekaligus mereduksi kekurangan masing-masing foto (Rashetyuk, 2009).

## RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Visualisasi model 3D hasil kombinasi dari pemotretan udara menggunakan UAV dan kamera DSLR?
- Bagaimana hasil nilai RMSE dari model 3D DSLR, UAV dan Kombinasi?

## TUJUAN DAN MANFAAT

- Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:
  - Menampilkan visualisasi 3D model dari hasil kombinasi menggunakan kamera DSLR dan UAV.
  - Analisis ketelitian model 3D kombinasi berdasarkan nilai RMSE
- Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
  - Memberikan kontribusi bagi ilmu fotogrametri dalam memvisualisasikan 3D *modelling*.
  - Hasil dari penelitian ini dapat menjadi suatu dokumentasi dalam bentuk model 3D untuk pemantauan pintu air waduk Sengkaling/Tegalondo.
  - Menjadikan solusi alternatif pemodelan 3D Objek dalam mendukung bidang survei pemetaan secara efektif dan efisien .

## BATASAN MASALAH

Penelitian ini dibatasi dengan hal-hal berikut:

- Penelitian ini difokuskan kepada visualisasi 3D *modelling* dari hasil kombinasi kamera DSLR dan UAV.
- Aplikasi yang digunakan dalam memproses data adalah *Agisoft Photoscan*.
- Focal Length* kamera 18mm.
- Data *image* atau foto diperoleh dari *Drone DJI Phantom Pro 4* dan 1 jenis kamera DSLR.
- Penelitian ini hanya terfokus kepada satu objek yaitu plengsengan yang terletak di Bendungan Sengkaling Kabupaten Malang.

## PERHITUNGAN RMSE

RMSE (Root Mean Square Error) merupakan akar kuadrat dari rata – rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber independen yang ketelitiannya lebih. RMSE horizontal ditentukan dari nilai RMSE absis dan RMSE ordinat (FGDC, 2013). Nilai RMSE absis dan RMSE ordinat dapat dihitung dengan persamaan berikut (FGDC, 2013).

$$RMSE = \sqrt{\sum = \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n}}$$

Keterangan:

$Y_i$  = data dari *software*

$\bar{Y}$  = data sebenarnya (hasil pengukuran dilapangan)

n = jumlah data

## Metode Penelitian

Lokasi penelitian adalah Bendungan Sengkaling tertuju pada objek plengsengan yang terletak di Jl. Terusan Sengkaling, Sengkaling, Tegalondo, Kec. Karang Ploso, Malang, Jawa Timur, yang berada diletak geografis 07°54'805.00"S 112°35'294.00"E.



Gambar 1. Lokasi penelitian (Google Earth, 2019)



Gambar 2. Objek penelitian

## Bahan dan Peralatan Penelitian

Adapun data atau bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
  - 1) *DJI Phantom 4 Pro*  
Spesifikasi kamera *DJI Phantom 4 Pro* antara lain:
    - Sensor kamera 1-inci Exmor R CMOS dengan sensor 20 MP dengan
    - Sensor size 5472 x 3648 mm
    - ISO 100 – 3200 (Auto) 100- 12800 (Manual)
  - 2) Kamera Nikon 3400 kit  
Spesifikasi kamera Nikon 3400 kit
    - Sensor kamera APS-C CMOS dengan sensor 24 MP
    - Sensor size : 23.5 x 15.6 mm
    - ISO 100-25600
  - 3) *Handphone Iphone 6*
  - 4) *Retro*
  - 5) *PC HP Z 860 64 Bit & Laptop Asus A455L*
  - 6) *Hardisk*

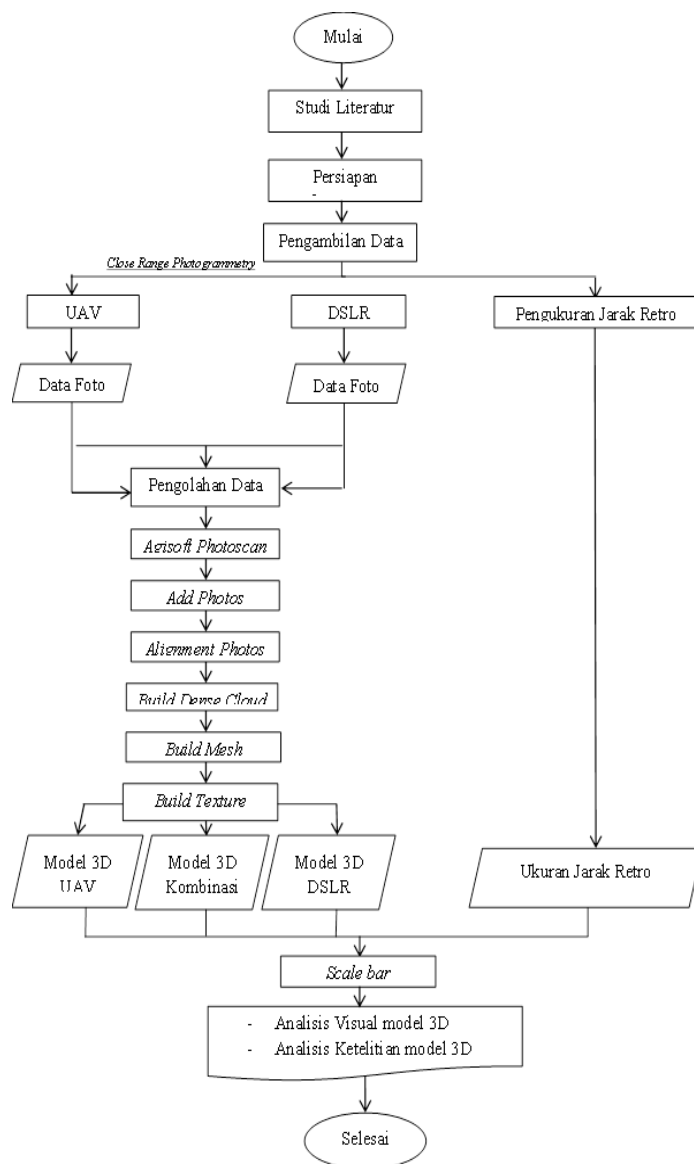
- 7) *Pita Ukur*
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
  - 1) *Agisoft Photoscan Pro V.1.2.4*
  - 2) *Microsoft Office 2010*

Sedangkan data bahan yang digunakan dalam penelitian, antara lain sebagai berikut:

1. Data foto vertikal pada objek plengsengan diperoleh dari wahana UAV *DJI Phantom 4 Pro* dengan mode terbang *Intelegent flight* dan jarak ketinggian 25m, *front overlap* 70%, dan *side overlap* 80%.
2. Data foto horizontal pada objek menggunakan kamera Nikon 3400kit dengan jarak pemotretan  $\pm 15$ m.
3. Data pengukuran jarak langsung.

## Diagram Alir

Adapun tahapan-tahapan penting dalam penelitian dapat dilihat pada gambar diagram alir berikut ini:



Gambar 3. Diagram Alir

Adapun penjelasan diagram alir sebagai berikut:

1. Studi literatur, studi literatur dilakukan terhadap buku-buku referensi yang berkaitan dengan topik dan pembahasan penelitian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya dan berbagai informasi yang diperoleh dari media dan internet. Hal ini untuk memperdalam dan memperluas wawasan serta menambah informasi yang berkaitan dengan ruang lingkup topik penelitian.
2. Persiapan, melengkapi semua alat dan bahan yang diperlukan untuk proses penelitian.
3. Pengambilan data, terdiri dari data foto pada objek yang dipotret menggunakan UAV dan kamera DSLR yang dilakukan secara terpisah serta melakukan pengukuran pada diameter dan jarak retro yang akan dijadikan sebagai acuan skala dan koreksi RMSE.
4. Pengolahan data menggunakan dua *software* yaitu *agisoft photoscan* yang selanjutnya dilakukan pembentukan *surface* yang sama dengan objek.
5. Uji akurasi retro dilakukan untuk mengetahui perbedaan jarak dan bentuk pada objek 3D model secara langsung dan tidak langsung yang akan dijadikan perbandingan untuk hasil RMSE.
6. Hasil, pada tahapan ini data hasil pengolahan menggunakan *software Agisoft PhotoScan* berupa visualisasi 3D model dan hasil RMSE.

## DATA JARAK RETRO

Pengukuran dilakukan secara langsung pada objek dilapangan dengan menggunakan alat bantu roll meter, yang dimana akan digunakan sebagai analisis jarak retro pada model 3D pada *software* dan model objek dilapangan. Pengukuran jarak dilakukan untuk proses skala pada objek 3D, pada penelitian ini pengukuran jarak menggunakan roll meter. Dengan acuan pengukuran menggunakan 7 titik retro yang sudah dipasang pada setiap sisi objek, sehingga menghasilkan 6 jarak antara titik retro. Berikut merupakan hasil pemasangan titik retro dan pengukuran jarak yang didapatkan. Berikut adalah data hasil pengukuran jarak retro dilapangan.

Tabel 1. Tabel data pengukuran jarak langsung (m).

Label	1	2	3	4	5	Rata-rata
1-2	1,258	1,260	1,259	1,260	1,259	1,260
2-3	1,162	1,164	1,162	1,163	1,163	1,162
3-4	2,251	2,253	2,252	2,252	2,251	2,252
4-5	1,290	1,289	1,292	1,290	1,291	1,290
5-6	1,037	1,036	1,036	1,035	1,034	1,036
6-7	1,204	1,204	1,203	1,206	1,205	1,204

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun hasil pengukuran jarak retro yang mana akan dilakukan untuk analisis nilai RMSE pada tiap model. Berikut adalah tabel hasil pengukuran jarak retro.

Tabel 2. Hasil pengukuran jarak retro (m).

Label	Hasil (m)
1-2	1,260
2-3	1,162
3-4	2,252
4-5	1,290
5-6	1,036
6-7	1,204

Pada tabel 2. diatas dapat dilihat hasil dari pengukuran jarak retro dilapangan yang mana hasil data tersebut akan digunakan untuk analisis perbandingan jarak sebenarnya dan dilapangan.

## HASIL MODEL 3D OBJEK

Hasil model 3D yang terbentuk dari 127 buah foto terbagi atas 62 foto UAV dan 95 foto DSLR dan 7 titik retro, jika diamatai fasad yang terbentuk memiliki kelengkapan sesuai dengan bentuk aslinya seperti rumput, dinding plengsengan, dapat terlihat pada model 3D.

Dari model yang terbentuk, terlihat seperti visualisasi objek yang sebenarnya. Dimana *surface* pada plengsengan menyerupai warna aslinya yang dikarenakan datanya yang diperoleh berasal dari data foto. Aplikasi pemodelan 3D objek seperti ini dapat dimanfaatkan sebagai kepentingan rekonstruksi dan konservasi. Ukuran 3D yang terbentuk menyerupai ukuran pada objek dikarenakan adanya faktor skala yang diperoleh dari pengukuran 7 titik kontrol dilapangan. Berikut adalah visualisasi 3D model.



Gambar 4. Hasil model 3D Objek

## ANALISI VISUALISASI MODEL 3D

Pada model 3D akan dianalisis bentuk visualisasinya berdasarkan hasil pada tiap sisi disemua model. Berikut adalah analisis visualisasi pada model 3D.

## 1. Tampak Sisi Kiri



Gambar 5. Tampak sisi kiri model DSLR



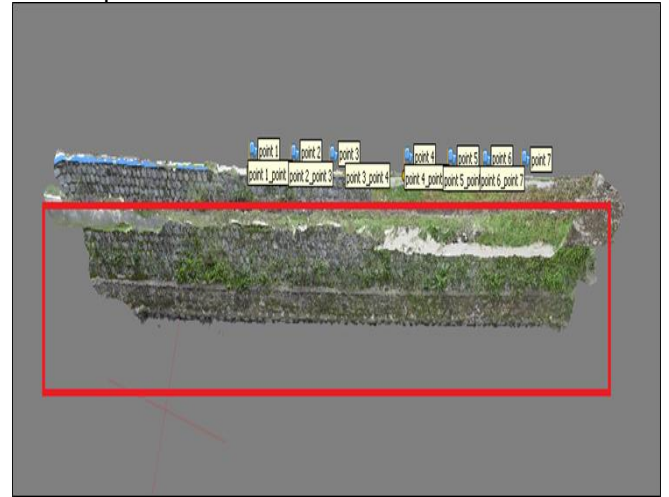
Gambar 6. Tampak sisi kiri model UAV



Gambar 7. Tampak sisi kiri model Kombinasi

Pada bentuk visual dari tampak sisi kiri pada tiap model di atas dapat dilihat bahwa bentuk geometri pada model 3D UAV dan Kombinasi hampir sama, akan tetapi bentuk geometri pada sisi kiri model DSLR ada bagian yang hilang, itu disebabkan oleh beberapa faktor yaitu pada saat pengambilan data foto pada kamera DSLR yang tidak terambil dan pada model UAV dan Kombinasi disebabkan pada saat proses editing dimana pada saat penghapusan noise ada bagian yang ikut terhapus.

## 2. Tampak Sisi Kanan



Gambar 8. Tampak sisi kanan model DSLR



Gambar 9. Tampak sisi kanan model UAV



Gambar 10. Tampilan sisi kanan model Kombinasi

Pada bentuk visual pada sisi kanan dapat dilihat pada model DSLR terdapat kebolongan yang cukup besar pada model 3D DSLR yang diakibatkan karena pada saat pengambilan data dilapangan tidak memungkinkan untuk proses pemotretan. Sebaliknya pada tampilan sisi kanan model 3D UAV dan Kombinasi terlihat utuh, memang terdapat kebolongan pada tiap sisi tapi kembali lagi itu disebabkan dikarenakan saat proses editing.

### 3. Tampak Sisi Atas



Gambar 11. Tampilan sisi atas model DSLR



Gambar 11. Tampilan sisi atas model UAV



Gambar 12. Tampilan sisi atas model Kombinasi

Pada tampilan visual sisi atas dapat dilihat bahwa model 3D DSLR mengalami kebolongan yang diakibatkan saat proses pengambilan data karena bentuk objek sangat besar dan tinggi mengakibatkan saat pemotretan bagian atas tidak terambil. Beda halnya dengan model 3D UAV dan Kombinasi bentuk visual sisi atas terbentuk tanpa ada kebolongan karena saat pemotretan dengan UAV posisi kamera pada drone tegak lurus sehingga data foto sisi atas terambil semua.

### ANALISA KETELITIAN MODEL 3D

Analisis ketelitian model dilakukan dengan mengamati perbedaan jarak di lapangan dengan jarak yang ada di software sehingga didapatkan perhitungan nilai RMSE yang menjadi acuan dalam analisis terhadap ketiga model yang ada. Sehingga didapatkan nilai RMSE dari masing-masing model, nilai RMSE dari model hasil foto kamera DSLR, nilai RMSE model hasil foto UAV serta nilai RMSE yang diperoleh dari gabungan keduanya.

#### 1. Hasil analisa ketelitian model 3D UAV

Tabel 3. Hasil analisa ketelitian model 3D UAV

Label	Distance (m)		Error (m)
	Software	Lapangan	
1-2	1,258727	1,260000	-0,001273
2-3	1,162486	1,162000	0,000486
3-4	2,261449	2,252000	0,009449
4-5	1,296047	1,290000	0,006047
5-6	1,026921	1,036000	-0,009079
6-7	1,193891	1,204000	-0,010109
<b>Total RMSE</b>			<b>0,007215</b>

#### 2. Hasil analisa ketelitian model 3D DSLR

Tabel 4. Hasil analisa model 3D DSLR

Label	Distance (m)		Error (m)
	Software	Lapangan	
1-2	1,260439	1,260000	0,000439
2-3	1,158355	1,162000	-0,003645
3-4	2,258785	2,252000	0,006785
4-5	1,298743	1,290000	0,008743
5-6	1,027025	1,036000	-0,008975
6-7	1,192432	1,204000	-0,011568
<b>Total RMSE</b>			<b>0,007641</b>

#### 3. Hasil analisa ketelitian Model 3D Kombinasi.

Tabel 5. Hasil analisa model 3D Kombinasi

Label	Distance (m)		Error (m)
	Software	Lapangan	
1-2	1,259351	1,260000	-0,000651
2-3	1,162222	1,162000	0,000223
3-4	2,258024	2,252000	0,006024
4-5	1,297678	1,290000	0,007678
5-6	1,029446	1,036000	-0,006554
6-7	1,190331	1,204000	-0,013670
<b>Total RMSE</b>			<b>0,007366</b>

## HASIL ANALISIS KETELITIAN PADA TIAP MODEL

Tabel 6. hasil ketelitian pada tiap model 3D

Label	Distance (m)		
	Model UAV	Model DSLR	Model Kombinasi
1-2	-0,001273	0,000439	-0,000651
2-3	0,000486	-0,003645	0,000223
3-4	0,009449	0,006785	0,006024
4-5	0,006047	0,008743	0,007678
5-6	-0,009079	-0,008975	-0,006554
6-7	-0,010109	-0,011568	-0,013670
<b>Total RMSE</b>	<b>0,007215</b>	<b>0,007641</b>	<b>0,007366</b>

Dari tabel 6. dapat dilihat nilai RMSE dari ketiga model, yaitu pada model 3D UAV sebesar 0,007215 m, model 3D DSLR sebesar 0,007641 m dan pada model 3D kombinasi sebesar 0,007366 m. Berdasarkan hasil tabel di atas selisih nilai RMSE dari ketiga model 3D tidak terlalu jauh.

## KESIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang didapatkan dari pelaksanaan Tugas akhir dengan judul Visualisasi 3D *Modelling* Dari Hasil Kombinasi Kamera DSLR Dan UAV Dengan Metode *Close Range Photogrammetry* Pada Objek Plengsengan, Bendungan Sengkaling, Desa Tegal Gondo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang yaitu:

1. Metode close range photogrammetry menggunakan data kombinasi kamera DSLR dan UAV dapat digunakan untuk pemodelan 3D yang sesuai dengan bentuk asli objek.
2. Berdasarkan hasil perhitungan akurasi model 3D UAV memiliki nilai RMSE sebesar 0,007215 m, model 3D DSLR sebesar 0,007641 m dan model 3D Kombinasi sebesar 0,007366 m.
3. Bentuk visual dari beberapa model 3D terdapat kebolongan diakibatkan karena saat proses pengambilan data.
4. Model 3D kombinasi dari data UAV dan DSLR dapat disimpulkan bahwa data tersebut saling melengkapi

## SARAN

Adapun saran yang dapat disampaikan dalam Tugas akhir ini antara lain:

1. Pada pengambilan data menggunakan kamera DSLR harus diperhatikan *overlap* ditiap foto, dikarenakan kamera DSLR tidak memiliki koordinat yang dapat mengakibatkan kebolongan pada model 3D.
2. Jika retro berdiameter kecil disarankan saat pengambilan data menggunakan UAV harus disesuaikan tinggi terbangnya agar pada saat pemrosesan model 3D retro dapat terlihat jelas.
3. Untuk pembuatan model 3D dari data kombinasi disarankan menggunakan agisoft photoscan dengan seri 1\_4\_5\_x64 keatas, dikarekan dengan seri dibawah maka tidak *suport* saat pengolahan data

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allard, P. H., & Lavoie, J. A. (2014). *Differentiation of 3D scanners and their positioning method when applied to pipeline integrity*. CREAFORM.
- Amiranti, A. Y. (2016), Pembuatan Model Tiga Dimensi Menggunakan Foto JarakDekat dengan Kombinasi Metode Interaktif dan Otomatis. Skripsi, Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Asbintar, S.P. (2016), Kajian Keandalan Depth Camera untuk Membuat Model Candi dan Kawasan Sekitarnya, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Atkinson, K. B. (1996), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, WhittlesPublishing. Soctland.
- Bern, M. W. and Eppstain, D., 1992. Mesh generation and optimal triangulation. Chapter 1 in *Computing in Euclidean Geometry* (Eds. D.-Z. Du and F. K. Hwang). World Scientific, River Edge, New Jersey. Lecture Notes Series on Computing, Vol 1, 385 pages: 23-9.
- Danurwendi, C. (2012). Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Dalam bidang Arsitektur Lansekap. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi. ITB. Bandung
- Fadjrie, M. (2017), Penerapan Metode Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi Data Unmanned Aerial Vehicle Untuk pembuatan Model 3D. Seminar Nasional. Institut Teknologi Nasional Bandung.
- FGDC. (2013). *Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3 : National Standart for Spatial Data Accuracy*.
- Hadi, B. S., (2007), *Dasar-dasar Fotogrametri*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Herianto. (2013). Studi Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Dengan Teknik Close Range Photogrammetry. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Ildar, V. V. 1999. 3D Recontruction of architectural objects from photo. The 9th International conference on computer graphics and vision, Moscow, Russia, Aug 26-sep 1.
- Matthews, N.A. (2008). *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology Providing Documentation, Interpretation, and Preservation*. Berau Of Land Managemen, Colorado.
- Michael, E. and Gordon.G. 1981. *Analysis Adjustmentof Survey Measurement*. New York : Van Nostrand Reinhold Company.

- Nalwan, A. (1998). *Pemrograman Animasi dan Game Profesional*. Jakarta: Elex Media Komputindo
- Pfreifer, N. (2008). *Digital surface model and digital terrain model filtering*. Austria: Institute of Photogrammetry and Remote Sensing Vienna University of Technology.
- Putri, K. M., Subiyanto, S., & Suprayogi, A. 2016. Pembuatan Peta Wisata Brown Canyon Secara Interaktif Dengan Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1).
- Remondino, F. and Niederoet, J., 2004. Generation of high-resolution mosaic for photo-realistic texture mapping of cultural heritage 3D models. *Proceedings of the 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage (VAST04)*, Brussels, Belgium, 7th to 10th December 279 pages: 85-92.
- Reshetyuk, Y. 2009. *Self-calibration, and Direct Georeferencing In Terrestrial Laser Scanning*. Saarbrucken, Germany: VDM Verlag Dr. Muller.
- Suyudi, B. dan Subroto, T. 2014. "Fotogrametri dan Penginderaan jauh". Yogyakarta : Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, 55293.
- Schenk, T. (2005). *Introduction of Photogrammetry*. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus.
- Syaucani, 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. *Jurnal Geodesi Undip*.
- Tjahjadi, E.M. dan Djauhari. Tantrie.(2017). *Modeling 3 dimensi sungai dari foto udara*. Program studi Teknik geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. dan Handoko.F.(2017). *Precise Wide Baseline Stereo Image Matching for Compact Digital Cameras*. Institut Teknologi Nasional Malang
- Tjahjadi, E.M. dan Tanzil.M.(2007). *Penentuan Parameter Orientasi Luar Pada Foto Konvergen Menggunakan Matrik Esensial*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. dan Handoko.F.(2017). *Singel Frame Resection of Compact Digital Cameras for UAV Imagery*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. (2017). *Novel Image Mosaicking of UAV Imagery using Collinearity*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. (2018). *Studi Pemotretan Udara dengan Wahana Quadcopter UAV Photogrammetry Menggunakan Kamera Non Metrik Digital*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., and Purwanto H., (2015). *Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah Longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., (2017). *Photogrammetric Area-Based Least Square Image Matching for Surface Reconstruction*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., and Agustina, F. D (2019). *Fast and stable direct relative orientation of UAV-based stereo pair*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., and Rokhmana C. A., (2019). *Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Pantimena, L., Anto, G. H., Astrini, R., dan Mulyati, S., (2009) *Pemantauan Deformasi Jalan Layang dan Kereta Api dengan Kamera Dijital di Kota Malang*.
- Wolf.P.R. 1993. "Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh", Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Wolf.P.R. 2008. "Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh", Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.