

# ANALISIS MULTI TEMPORAL 3D MODELLING PIPA AIR DENGAN METODE CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY MENGGUNAKAN UNMANNED AERIAL VEHICLE

(Studi Kasus : Bendungan Sengkaling, Desa Tegal Gondo Kecamatan Karang Ploso Kabupaten Malang)

I Dewa Gde Merta Pratama Janatha 15.25.020

Dosen Pembimbing I : M. Edwin Tjahjadi, ST.,M.Geom.Sc.,Ph.D

Dosen Pembimbing II : Alifah Noraini, ST.,MT

Program Studi Teknik Geodesi S-1 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Nasional Malang

## Abstraksi

Seiring berkembangnya teknologi penelitian untuk mendapatkan bentuk 3D sesuai pengelihatn mata manusia banyak dilakukan. Penelitian mengenai bentuk 3D bangunan sudah beberapa kali dilakukan di Indonesia seperti Candi Singosari, Candi Borobudur dan Candi Brahu. Pada penelitian-penelitian tersebut menghasilkan ketelitian model 3D yang memiliki tidak jauh berbeda dengan data *Terrestrial Laser Scanning* (TLS). Dalam penelitian sebelumnya, hasil pengamatan akurasi bentuk 3D dilakukan satu kali pemotretan. Sehingga belum diketahui pengaruh jumlah foto terhadap akurasi bentuk. Dari latar belakang tersebut, penulis ingin mengetahui pengaruh jumlah foto terhadap akurasi bentuk visual 3D. Penelitian ini bertujuan untuk membuat pemodelan 3D dari pipa di Bendungan Sengkaling dengan metode *closer range photogrammetry* serta melakukan analisis pengaruh jumlah foto terhadap perbandingan bentuk visual di Bendungan Sengkaling.

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data foto udara yang menghasilkan 3 model foto yang berbeda. Dari ketiga model tersebut kemudian dilakukan perhitungan RMSE untuk analisis pengaruh jumlah foto terhadap model 3D.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model pertama dengan jumlah 120 foto memiliki nilai RMSE sebesar 0,0848 m, model kedua dengan jumlah 653 foto memiliki nilai RMSE sebesar 0,0803 m dan model ketiga dengan jumlah 922 foto dengan nilai RMSE sebesar 0,0743 m. Model ketiga merupakan model yang paling bagus karena memiliki nilai RMSE paling kecil sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah foto mempengaruhi nilai RMSE yang dihasilkan model. Semakin banyak jumlah foto semakin kecil nilai kesalahan RMSE dari model 3D yang terbentuk.

**Kata Kunci:** *Agisfot Photoscan Professional, Fotogrameti, RMSE*

---

## Pendahuluan

Seiring berkembangnya teknologi penelitian untuk mendapatkan bentuk 3D sesuai pengelihatn mata manusia banyak dilakukan. Penelitian mengenai bentuk 3D bangunan sudah beberapa kali dilakukan di Indonesia seperti Candi Singosari, Candi Borobudur, Candi Brahu, pada penelitian-penelitian tersebut menghasilkan ketelitian model 3D yang memiliki tidak jauh berbeda dengan data *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) (Selfi, 2017). Dalam penelitian sebelumnya hasil pengamatan akurasi bentuk 3D dilakukan satu kali pemotretan. Sehingga belum diketahui pengaruh jumlah foto terhadap akurasi bentuk. Dari latar belakang tersebut, penulis ingin mengetahui pengaruh jumlah foto terhadap akurasi bentuk visual 3D.

Fotogrametri *terrestrial* merupakan suatu cabang penting ilmu fotogrametri. Ilmu ini mempelajari foto yang dibuat dengan kamera yang terletak pada permukaan bumi. Kamera dapat dipegang tangan, dipasang pada kaki kamera atau dipasang pada menara ataupun dengan alat penyangga lain yang dirancang secara khusus. Istilah fotogrametri jarak dekat pada umumnya digunakan untuk foto terrestrial yang mempunyai jarak objek sampai dengan 300 meter. Berbeda dengan foto udara, kamera foto terrestrial biasanya mudah dicapai sehingga dapat

dilakukan pengukuran langsung untuk memperoleh posisi pemotretan. Orientasi kesudutan kamera biasanya dapat juga diukur atau disetel pada nilai-nilai tertentu sehingga semua unsur orientasi luar foto terrestrial pada umumnya diketahui dan tidak perlu dihitung. Parameter-parameter orientasi luar yang diketahui ini merupakan sumber kontrol bagi foto terrestrial, dengan mengganti seluruh atau sebagian yang perlu untuk meletakkan titik kontrol di dalam ruang objek (Wolf, 1993). Dalam penelitian tugas akhir ini, objek yang digunakan adalah pipa air yang terdapat di Bendungan Sengkaling yang terletak di Desa Tegal Gondo Kecamatan Karang Ploso Kabupaten Malang.

## Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- Bagaimana hasil visual 3D dari pipa air di Bendungan Sengkaling?
- Bagaimana hasil perbandingan visual 3D pipa berdasarkan jumlah foto dari pipa air di Bendungan Sengkaling dari model 3D sesi pertama, gabungan model 3D sesi 1,2,3 dan

gabungan kelima sesi menggunakan metode *close range photogrammetry*?

**Tujuan dan Manfaat**

- a. Tujuan dari penelitian ini adalah
  - i. Membuat pemodelan 3D dari pipa di Bendungan Sengkaling dengan metode *close range photogrammetry*.
  - ii. Melakukan analisis pengaruh jumlah foto terhadap perbandingan bentuk visual di Bendungan Sengkaling.
- b. Manfaat dari penelitian ini antara lain:
  - i. Memberikan gambaran bentuk visual dari pipa air di Bendungan Sengkaling.
  - ii. Memberikan informasi mengenai pengaruh jumlah foto terhadap bentuk visual dari obyek berdasarkan dimensi jarak.

**Batasan Masalah**

Batasan Masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. Alat yang digunakan untuk pengamatan adalah *Drone Dji Phantom 4*.
- b. Objek penelitian yang dipilih adalah pipa air yang terdapat di Bendungan sengkaling.
- c. Analisis *Multi Temporal* terhadap objek dilakukan 5 sesi di waktu yang berbeda.
- d. Analisis perbandingan dengan mengamati nilai RMSE dan jarak retro.

**Perhitungan RMSE**

*RMSE (Root mean square error)* adalah nilai perbedaan nilai sesungguhnya dengan nilai ukuran. *RMS residual* didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan. Nilai RMS dapat ditentukan menggunakan rumus berikut (FGDC, 1998):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(xi - \mu)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- xi = nilai ukuran ke-i
- μ = nilai ukuran yang dianggap benar
- n = jumlah ukuran

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.

**Metode Penelitian**

Pada penelitian ini, pemotretan berlokasi di Bendungan Sengkaling Desa Tegal Gondo Karang Ploso, Kabupaten Malang. Lokasi penelitian berada pada koordinat S 07°54'805 – E 112°35'294



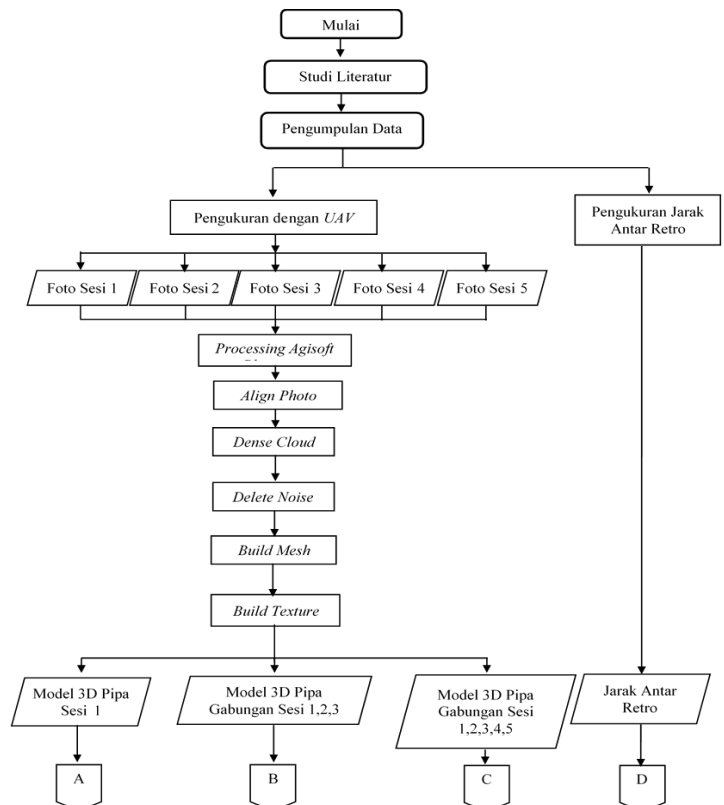
Gambar 1 Lokasi Penelitian (*Foto Drone DJi Phantom 4*)

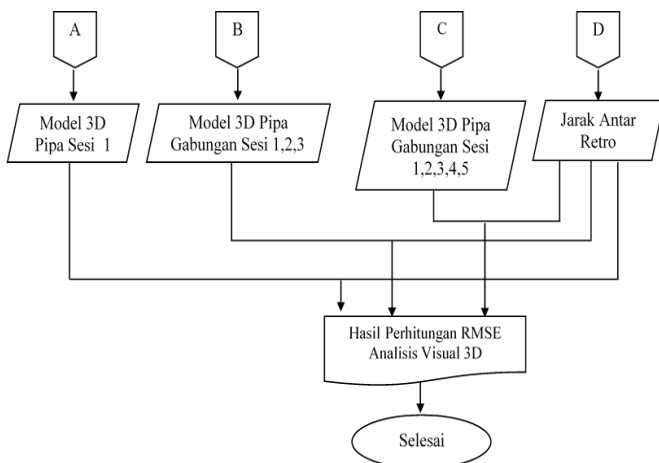
**Alat dan Bahan**

- a. Alat
  - 1. Perangkat keras
    - a) Retro
    - b) *DJI Phantom 4 Pro*
      - Kamera 12MP
      - Sensor size 5472 x 3648
      - ISO 100-3200 (Auto) 100-12800
      - Dynamic range* mencapai 11,6
    - c) PC HP Z 860 64 Bit
  - 2. Perangkat Lunak
    - a) Agisoft Photoscan Professional
    - b) Ms.Word 2010
- b. Bahan
  - 1. Data hasil pemotretan *DJI Phantom 4 Pro* berupa foto

**Diagram Alir**

Tahapan dalam penelitian ini digambarkan dalam bentuk diagram sebagai berikut:





Gambar 2 Diagram Alir

Data yang digunakan adalah data foto hasil pengukuran dengan menggunakan *Drone DJI Phantom 4*. Pengukuran foto dilakukan sebanyak lima kali dengan total jumlah keseluruhan foto 922.

Tahap pengolahan data dengan memproses data mulai dari *align photo* yang berfungsi untuk mencari titik yang sama dari 2 atau lebih foto, *dense cloud* merupakan kumpulan titik tinggi dengan jumlah yang sangat banyak dari pemrosesan foto udara, kemudian dilanjutkan dengan *delete noise* yang berfungsi untuk menghapus titik-titik *point cloud* yang tidak diperlukan dengan *delete noise* ini membuat proses selanjutnya yaitu *build mesh* yang merupakan proses membangun model 3D dalam *agisoft* Model tiga dimensi nantinya akan digunakan untuk proses pembentukan DEM, DSM, DTM dan Orthofoto menjadi lebih cepat dan diakhiri dengan proses *build texture* yang merupakan proses pembentukan model fisik 3D dari kenampakan-kenampakan yang ada di area liputan foto.

Tahap pengolahan data terakhir adalah perhitungan nilai RMSE dari setiap model untuk analisis pengaruh jumlah foto terhadap ketelitian model berdasarkan dimensi jarak.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Analisis Pengolah Data Foto Udara

Pengolahan model 3D dari pipa air menggunakan *software Agisoft Photoscan* dengan jumlah foto sebanyak 922 foto yang merupakan total dari 5 sesi yaitu sesi pertama dengan jumlah 120 foto, sesi kedua dengan 264 foto sesi ketiga dengan 269, sesi keempat dengan 185 dan sesi kelima 110 foto. Model yang dianalisis terdapat 3 model, model pertama merupakan

hasil pemrosesan dari satu sesi dengan jumlah 120 foto, model kedua merupakan hasil pemrosesan dari sesi pertama, kedua dan ketiga dengan jumlah 653 foto dan model ketiga merupakan gabungan dari lima sesi dengan jumlah total foto berjumlah 922 foto.

### Hasil Pengukuran Jarak Langsung

Untuk validasi serta analisis dari pengaruh jumlah foto terhadap bentuk visualisasi dari model 3D diperlukan pengukuran jarak langsung di lapangan karena dalam penelitian ini tidak menggunakan GCP sebagai acuan validasi maka digunakan retro atau target. Pengukuran jarak retro dilakukan sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata dan data tersebut dianggap data benar.

Tabel 1. Pengukuran Jarak Langsung

TITIK	1 (m)	2 (m)	3 (m)	4 (m)	5 (m)	Rata-Rata (m)
P1-P2	3,048	3,047	3,048	3,046	3,046	3,047
P2-P3	3,049	3,045	3,048	3,046	3,045	3,046
P3-P4	3,098	3,095	3,096	3,098	3,100	3,097
P4-P5	3,078	3,076	3,078	3,077	3,078	3,077
P5-P6	6,006	6,006	6,004	6,005	6,007	6,005
P6-P7	3,068	3,067	3,069	3,066	3,067	3,067
P7-P8	3,075	3,074	3,076	3,074	3,074	3,074
P8-P9	3,076	3,075	3,076	3,079	3,077	3,076
P9-P10	3,090	3,089	3,089	3,090	3,090	3,089
P10-P11	2,980	2,981	2,982	2,980	2,980	2,980
P11-P12	2,960	2,961	2,960	2,960	2,960	2,960
P12-P13	2,976	2,973	2,975	2,976	2,975	2,975
P13-P14	3,016	3,015	3,016	3,019	3,018	3,016
P14-P15	2,940	2,941	2,942	2,940	2,940	2,940
P15-P16	2,960	2,961	2,962	2,962	2,960	2,961
P16-P17	2,980	2,980	2,980	2,981	2,982	2,980
P17-P18	2,976	2,978	2,978	2,972	2,976	2,976
P18-P19	2,973	2,969	2,970	2,970	2,968	2,970
P19-P20	2,985	2,983	2,984	2,984	2,984	2,984
P20-P21						

### Model Pertama

Berikut merupakan visualisasi dari model pertama yang terbentuk dari satu sesi dengan jumlah 120 foto yang diproses dengan *software Agisoft Photoscan*. Bentuk visualisasi dari model ini tidak sempurna terutama bagian bawah karena saat

pengukuran bagian bawah dari pipa air di bendungan sengkaling tidak bisa diakses.



Gambar 3 Perbandingan Bentuk Pipa di Lapangan Dengan Model Pertama

Dari visualisasi model 3D dari pipa dapat dihitung nilai jarak antar retro di aplikasi *Agisoft Photoscan* serta nilai selisih antara jarak di lapangan dengan jarak di aplikasi.

Tabel 2 Jarak Antar Retro Model Pertama

Titik	Jarak (m)	Jarak lapangan (m)	Selisih (m)	Nilai Selisih kuadrat (m <sup>2</sup> )
P1-P2	3,008	3,047	-0,0388	0,00150
P2-P3	2,921	3,046	-0,1240	0,01537
P3-P4	2,960	3,097	-0,1363	0,01857
P4-P5	2,983	3,077	-0,0932	0,00868
P5-P6	5,876	6,005	-0,1286	0,01653
P6-P7	2,941	3,067	-0,1254	0,01572
P7-P8	2,939	3,074	-0,1344	0,01806
P8-P9	2,950	3,076	-0,1252	0,01567
P9-P10	2,956	3,089	-0,1323	0,01750
P12-P13	2,972	2,960	0,0121	0,00014
P13-P14	2,992	2,975	0,0176	0,00030
P14-P15	3,035	3,016	0,0192	0,00036
P15-P16	2,946	2,940	0,0069	0,00004
P16-P17	2,967	2,961	0,0076	0,00005
P17-P18	3,000	2,980	0,0182	0,00033
P18-P19	2,989	2,976	0,0134	0,00017
P19-P20	2,986	2,970	0,0164	0,00026
P20-P21	2,994	2,984	0,0109	0,00011
<b>TOTAL</b>				<b>0,15617</b>
<b>Rata-rata (m<sup>2</sup>)</b>				<b>0,12947</b>
<b>RMSE(m)</b>				<b>0,08481</b>

### Model Kedua

Hasil pemodelan 3D pipa air di bendungan Sengkaling dari gabungan sesi pertama dengan jumlah 120 foto, sesi kedua dengan jumlah 264 foto dan sesi ketiga dengan jumlah 269 foto, dan gabungan ketiga sesi berjumlah 653 foto secara tampilan visual terlihat model kedua lebih rapi dari model pertama. Seperti model sebelumnya model kedua juga tidak dapat menampilkan bagian bawah karena saat pengukuran bagian bawah tidak dapat diukur dengan *UAV* namun untuk analisis yang digunakan dalam penelitian ini hanya 1 dimensi yaitu dimensi jarak sehingga tidak sepenuhnya tidak mempengaruhi analisis dari model.



Gambar 4.2 Perbandingan Bentuk Pipa di Lapangan Dengan Model Kedua

Tabel 3 Jarak Antar Retro Model Kedua

Titik	Jarak (m)	Jarak lapangan (m)	Selisih (m)	Nilai Selisih kuadrat (m <sup>2</sup> )
P1-P2	3,014	3,047	-0,0328	0,00107
P2-P3	2,926	3,046	-0,1194	0,01425
P3-P4	2,960	3,097	-0,1363	0,01857
P4-P5	2,985	3,077	-0,0919	0,00844
P5-P6	5,897	6,005	-0,1078	0,01162
P6-P7	2,950	3,067	-0,1161	0,01347
P7-P8	2,949	3,074	-0,1246	0,01552
P8-P9	2,963	3,076	-0,1125	0,01265
P9-P10	2,965	3,089	-0,1231	0,01515
P12-P13	2,981	2,960	0,0214	0,00045
P13-P14	3,004	2,975	0,0293	0,00085
P14-P15	3,044	3,016	0,0289	0,00083
P15-P16	2,959	2,940	0,0194	0,00037
P16-P17	2,978	2,961	0,0177	0,00031
P17-P18	3,011	2,980	0,0314	0,00098
P18-P19	2,998	2,976	0,0225	0,00050
P19-P20	2,998	2,970	0,0286	0,00081
P20-P21	3,005	2,984	0,0211	0,00044
<b>TOTAL</b>				<b>0,11628</b>
<b>Rata-rata (m<sup>2</sup>)</b>				<b>0,00646</b>
<b>RMSE (m)</b>				<b>0,08041</b>

### Model Ketiga

Berikut merupakan visualisasi dari model terakhir yang terbentuk dari gabungan 5 sesi, gabungan sesi pertama dengan jumlah 120 foto, sesi kedua dengan jumlah 264 foto dan sesi ketiga dengan jumlah 269 foto, sesi keempat dengan jumlah 185 foto, sesi kelima dengan jumlah 110 foto dan jumlah keseluruhan foto 922 yang diproses dengan *software Agisoft Photoscan*.

Tabel 4 Jarak Antar Retro Model Ketiga

Titik	Jarak (m)	Jarak lapangan (m)	Selisih (m)	Nilai Selisih kuadrat (m <sup>2</sup> )
P1-P2	3,028	3,047	-0,0188	0,00035
P2-P3	2,937	3,046	-0,1083	0,01173
P3-P4	2,975	3,097	-0,1215	0,01476
P4-P5	3,002	3,077	-0,0741	0,00549
P5-P6	5,911	6,005	-0,0932	0,00869
P6-P7	2,959	3,067	-0,1074	0,01153
P7-P8	2,955	3,074	-0,1188	0,01411
P8-P9	2,971	3,076	-0,1046	0,01094
P9-P10	2,973	3,089	-0,1158	0,01340
P12-P13	2,988	2,960	0,0286	0,00082

P13-P14	3,009	2,975	0,0340	0,00116
P14-P15	3,054	3,016	0,0372	0,00138
P15-P16	2,962	2,940	0,0223	0,00050
P16-P17	2,988	2,961	0,0272	0,07398
P17-P18	3,017	2,980	0,0376	0,00141
P18-P19	3,003	2,976	0,0277	0,00076
P19-P20	3,001	2,970	0,0317	0,00100
P20-P21	3,012	2,984	0,0286	0,00082
<b>TOTAL</b>				<b>0,099619</b>
<b>Rata-rata (m<sup>2</sup>)</b>				<b>0,005534</b>
<b>RMSE (m)</b>				<b>0,0743</b>

### Hasil Analisis Ketelitian

Hasil akhir dari penelitian ini dilakukan analisis perbandingan pengaruh jumlah foto terhadap bentuk visual 3D dari pipa air di Bendungan Sengkaling, Perbandingan nilai RMSE dari setiap titik merupakan dimensi jarak yang digunakan untuk analisis dari pengaruh jumlah foto. Adapun analisis ketelitian RMSE terdapa dalam tabel 4.

Tabel 5 Analisis Ketelitian RMSE

	Model 1 (m)	Model 2 (m)	Model 3 (m)
RMSE	<b>0,08481</b>	<b>0,08037</b>	<b>0,0743</b>

Dari tabel 5, model pertama merupakan model yang terbentuk dari satu sesi pengukuran dengan jumlah foto sebanyak 120 foto memiliki total RMSE sebesar 0,08481 m, model kedua merupakan gabungan dari 3 sesi pengukuran dengan jumlah foto sebanyak 653 foto memiliki nilai RMSE 0.0803 m, dan model ketiga merupakan model 3D yang terbentuk dari foto dari lima sesi pengukuran dengan jumlah foto sebanyak 922 foto dengan nilai RMSE 0,0743 m. Berdasarkan analisis dimensi jarak dari objek 3D pipa air disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah foto maka nilai RMSE yang dihasilkan semakin kecil.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai akhir penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil model berdasarkan tampilan visual menunjukkan tampilan retro yang semakin baik bersamaan dengan jumlah foto yang semakin bertambah serta tampilan model disesi pertama yang tidak sempurna di satu titik karena kurangnya jumlah foto.
2. Model ketiga merupakan model yang paling bagus dengan nilai RMSE paling kecil. Model pertama dengan jumlah 120 foto memiliki nilai RMSE 0.0848 m, model kedua dengan jumlah 653 foto memiliki nilai RMSE 0.0803 m, model ketiga dengan jumlah 922 foto memiliki nilai RMSE 0,0743 m. Jumlah foto mempengaruhi nilai RMSE yang dihasilkan model, semakin banyak jumlah

foto semakin kecil nilai kesalahan RMSE dari model 3D yang terbentuk.

### Saran

Berdasarkan penelitian ini banyak kekerungan yang perlu diperhatikan, saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Pemrosesan data di *Agisoft Photoscan* yang menghabiskan waktu yang lama dengan jumlah foto yang banyak, maka untuk proses pengolahan data foto disarankan menggunakan perangkat komputer dengan spesifikasi yang tinggi dan sesuai.
2. Sebaiknya untuk pemodelan objek kecil, tinggi terbang dari UAV dibuat serendah mungkin untuk mendapatkan lebih banyak detail dari obyek yang ingin dijadikan model 3D.

### DAFTAR PUSTAKA

Agisoft LLC, 2016. *Agisoft Photoscan User Manual*. URL:

[https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_2\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf)

Atkinson, K.B, 1996, *Close Range Photogrammetry and Machine Vision Whittles Publishing Scotland, UK*.

Balasubramanian A. 2017. *Digital Elevation Model in GIS*. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/319454004\\_Digital\\_Elevation\\_Model\\_Dem\\_In\\_Gis](https://www.researchgate.net/publication/319454004_Digital_Elevation_Model_Dem_In_Gis)

Barber, D., Mills, J. & Bryan, P. 2003. *Towards a Standard Specification for Terrestrial Laser Scanning of Cultural Heritage. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 34, Part 5/C15:619-624

Bern, M. W. & Eppstein, D., 1992. *Mesh generation and optimal triangulation. Chapter 1 in Computing in Euclidean Geometry*.

BIG. 2019. *Program Percepatan Penyediaan Peta Dasar Skala Besar (1:5000 Dan 1:1000) Untuk Pembangunan Nasional Berkelanjutan*.

Bpsdm.pu.go.id 2019. *Pemodelan 3D, 4D, 5D, 6D, DAN 7D*. URL:

[https://simantu.pu.go.id/epel/edok/b62fa\\_Bahan\\_Tayang\\_Modul\\_5\\_Pemodeln\\_3D-7D\\_simulasi\\_dan\\_LOD.pdf](https://simantu.pu.go.id/epel/edok/b62fa_Bahan_Tayang_Modul_5_Pemodeln_3D-7D_simulasi_dan_LOD.pdf)

Eiseibe. 2009. *UAV Photogrammetry Dissertation Zurich.*, Switzerland: ETH Zurich.

Faisol A., 2009. *Identifikasi dan Klasifikasi Peruntukan Lahan Menggunakan Citra Aster*. Media Teknik Sipil, Volume IX. ISSN 1412-0976.

FGDC, 2013, *Geospatial Positionin Accuracy Standards, Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy*.

- Frianzah, A., 2009. *Pembuatan Orthoimage dari citra ALOS Prism*, skripsi, Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika FT UGM, Yogyakarta.
- Giuseppe M. & Christos K., 2018. *Automated Identification of Discrepancie between Nautical Charts and Survey Soundings*. URL:  
[https://www.researchgate.net/figure/Example-of-a-Triangulated-Irregular-Network-TIN-with-the-adopted-nomenclature-for-the\\_fig1\\_327697836](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-a-Triangulated-Irregular-Network-TIN-with-the-adopted-nomenclature-for-the_fig1_327697836)
- Gularso H., 2015. *Penggunaan Foto Udara Format Kecil Menggunakan Wahana Udara NIR-Awak Dalam Pemetaan Skala Besar*. Badan Informasi Geospasial
- Hanifa, N. R., 2007, "Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Nonmetrik Auto Focus untuk Pemantauan Deformasi", tesis, Program Studi Teknik Geodesi dan Geoinformatika Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut teknologi Bandung.
- Kemendikbud. 2016. Modul Guru Pembelajar Paket Keahlian Teknik Geomatika. URL:  
<http://repositori.kemdikbud.go.id/6023/1/MODUL%20TEKNIK%20FOTOGRAMETRI.pdf>
- Lillesand. Thomas M. and Ralph W. Kieffer. 1998. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Mukhlas A., 2014. *Pembuatan Digital Surface Model (DSM) Dari Citra Foto Unmanned Aerial Vihecle (UAV) Menggunakan Software Agisoft*. Skripsi. Tidak Diterbitkan
- Murniati, 2009, *Interpretasi Kelurusan Jawa Tengan Menggunakan Data Digital Elevation Model (DEM)*, Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, tidak dipublikasikan
- Nalwan, A. 1998. *Pemrograman Animasi dan Game Profesional*. Jakarta; Elex Media Komputindo.
- Petrie G., Kennie TJM. 1991. *Terrain Modelling In Surveying and Civil Engineering*. Mcgraw-Hill, Inc. London
- Purwadhi S. H. dkk. 2008. *Pengantar Interpretasi Citra Penginderaan Jauh*. Semarang: UNES – LAPAN.
- Subakti, Bagus. 2017. "Pemanfaatan Foto Udara UAV Untuk Pemodelan Bangunan 3D Dengan Metode Otomatis". ITN Malang: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
- 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, 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 Malng
- Tjahjadi, E.M. dan Handoko.F.(2017). *Singel Frame Resection of Compact Digital Cameras for UAV Imagery*. 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, 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., Pantimena, L., Anto, G. H., Astrini, R., dan Mulyati, S., (2009) *Pemantauan Deformasi Jalan Layang dan Kereta Api dengan Kamera Dijital di Kota 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., Sai, S. S., and Rokhmana C. A., (2019). *Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Wolf, Paul R. 1993. *Element Fotogrametri Dengan Intepretasi Foto Udara dan Pengineraan Jauh*, Edisi Kedua. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.

