

**KAJIAN PERGESERAN TITIK PEMANTAUAN DEFORMASI  
MENGUNAKAN METODE CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY  
BERBASIS UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE)**

*(Studi Kasus : Kecamatan Dau, Malang)*

**Ayu Dewi Mayang Sari<sup>1</sup>, M. Edwin Tjahjadi<sup>2</sup> & Hery Purwanto<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,

<sup>2</sup>Dosen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jl. Bendungan

Sigura-gura No.2, Kampus I, Malang, Jawa Timur, Indonesia 65145

email : ayudewims@gmail.com

**Abstrak**

Daerah dataran tinggi dengan kemiringan lebih dari 20° berpotensi terjadi pergerakan tanah, baik secara horizontal maupun vertikal yang menyebabkan perubahan posisi, bentuk dan dimensi yang dikenal dengan istilah deformasi. Pemantauan deformasi dalam bidang kajian ilmu geodesi dilakukan dengan analisis geometrik, yaitu menentukan vektor pergeseran koordinat 3D dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari hasil pengamatan geodetik pada waktu yang berbeda.

Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) menjadi salah satu alternatif dalam pemantauan deformasi yang mengadopsi metode *close range photogrammetry*. Metode ini sangat baik dalam pengamatan pergeseran posisi koordinat 3D karena ketelitian yang digunakan cukup tinggi dan proses pengambilan data dapat dilakukan dengan cepat. Dari hasil uji coba pemantauan deformasi menggunakan metode *close range photogrammetry* berbasis UAV di persil sawah diperoleh kesimpulan bahwa titik pantau tidak mengalami deformasi dan menghasilkan akurasi yang berbeda untuk *epoch-1* dan *epoch-2*. Pada *epoch-1* diperoleh akurasi  $\pm 7.059$  mm, sedangkan akurasi *epoch-2* adalah  $\pm 6.712$  mm. Sedangkan ketelitian pengukuran minimum yang dihasilkan sebesar 21.985 mm dan ketelitian maksimum sebesar 423.091 mm.

***Kata kunci:*** Deformasi, *Close Range Photogrammetry*, *Unmanned Aerial Vehicle*

## **Abstract**

The highland area with a slope of more than 20° potentially result in the movement occurrence of the ground, both horizontally as well as vertically, which causes a change of position, shape and dimension known as the deformation. Deformation monitoring in the field of the science of geodesy study is done from the analysis of geometric designs, namely determining a vector shift 3D coordinates using data difference of position obtained from our geodetic observation at different times .

Technology of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is one of the alternatives in the deformation monitoring of the adopted methods of close range photogrammetry. This method is very good in the 3D coordinates of the position shift observations because the precision used is high enough and the process of retrieval of data can be done quickly. Based on the results of deformation tryout monitoring by using close the range photogrammetry method based on UAV in parcels of rice fields it can be concluded that observation points are not subjected to deformation and produce the kind of accuracy photo process that different for Epoch-1 and Epoch-2. On the Epoch-1 the accuracy obtained is  $\pm 7.059$  mm, while the Epoch-2 accuracy is  $\pm 6.712$  mm. While accuracy the measurement of minimum produce as much as 21.985 mm and accuracy maximum as much as 423.091 mm.

**Key words :** Deformation, *Close Range Photogrammetry*, *Unmanned Aerial Vehicle*

## 1. Pendahuluan

Desa Gading Kulon merupakan salah satu desa di wilayah Kecamatan Dau, Kabupaten Malang yang mempunyai luas 453 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk 3.676 jiwa. Penggunaan lahan di Desa Gading Kulon sebagian besar berupa daerah pertanian dan perkebunan yang menggunakan sistem terasering. Desa Gading Kulon merupakan daerah perbukitan atau dataran tinggi yang memiliki kemiringan lebih dari 20° sehingga berpotensi terjadi pergerakan tanah. Pergerakan secara horizontal dan vertikal yang menyebabkan perubahan posisi, bentuk dan dimensi tersebut dikenal dengan istilah deformasi. Deformasi area pertanian terasering ini sangat penting untuk diamati dalam upaya pemantauan pergerakan tanah. Analisis deformasi dilakukan dengan analisis geometrik dan interpretasi fisik objek terdeformasi. Analisis geometrik dapat dilakukan dengan mengkuantifikasi besar deformasi yang terjadi dengan menentukan besarnya vektor pergeseran koordinat.

Selama ini pemantauan deformasi banyak dilakukan dengan menggunakan *Electronic Distance Measurement* (EDM), sipat datar, *Global Positioning System* (GPS), *Interferometry Synthetic Aperture Radar* (INSAR), *Photogrammetry*, serta gabungan dari dua atau lebih metode tersebut. Untuk itu, penelitian ini mencoba teknologi alternatif berupa metode *close range photogrammetry* berbasis wahana tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang dilengkapi dengan kamera non metrik dan dikendalikan dari jarak jauh. Dengan teknik fotogrametri, foto-foto yang terekam oleh kamera non metrik dapat diproses lebih lanjut, sehingga berbagai macam fitur yang terekam dapat diekstraksi dengan tingkat kecermatan yang sesuai untuk studi deformasi.

### 1.1 Perumusan Masalah

Permasalahan yang hendak diuji pada penelitian ini adalah:

1. Sejauh mana pemanfaatan metode *close range photogrammetry* berbasis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dapat diaplikasikan dalam mengamati pergeseran posisi untuk keperluan pengamatan deformasi ?

2. Berapakah nilai koordinat titik pantau persil sawah beserta ketelitiannya pada *epoch 1* dan *epoch 2*, serta nilai pergeseran titik pantau dalam kurun waktu tersebut ?
3. Seberapa besar skala ketelitian yang dihasilkan untuk mengetahui pergeseran titik pemantauan deformasi menggunakan metode *close range photogrammetry* berbasis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) ?

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini secara spesifik adalah :

1. Menguji metode *close range photogrammetry* berbasis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk mendeteksi deformasi.
2. Mendapatkan nilai koordinat titik pantau dengan metode *close range photogrammetry* berbasis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk *epoch 1* dan *epoch 2* yang selanjutnya untuk menentukan nilai pergeseran titik pantau.
3. Mengetahui akurasi yang dihasilkan dari pergeseran titik pemantauan deformasi menggunakan metode *close range photogrammetry* berbasis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

### 1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan pengetahuan tentang pemanfaatan kamera digital dan wahana pesawat tanpa awak dalam penentuan koordinat objek, serta pemanfaatan aplikasi UAV untuk monitoring dan dokumentasi objek-objek terdeformasi secara praktis.

### 1.4 Batasan Masalah

Pembatasan pada penelitian ini dibatasi pada:

1. Penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

menggunakan wahana Hexacopter dan kamera non metrik (Sony Nex 5N).

2. Perhitungan besar pergeseran titik pemantauan deformasi terhadap persil sawah menggunakan data pengukuran geodetik dari dua *epoch* waktu, yaitu pengukuran pagi dan sore.
3. Penelitian ini berdasarkan pada data pengukuran stabilisasi persil sawah yang berupa data koordinat 3 dimensi (X, Y, Z).
4. Pengolahan data foto menggunakan software Australis dengan teknik *self-calibration bundle adjustment* sampai menghasilkan nilai koordinat.
5. Analisis dilakukan dengan teknik geometrik analisis, yaitu besarnya nilai pergeseran dilihat dari perubahan koordinat objek pada kedua *epoch* waktu dan diuji dengan uji statistik pada tingkat kepercayaan 95%.

## 1.5 Tinjauan Pustaka

Penggunaan kamera digital non metrik untuk aplikasi fotogrametri khususnya metode *Close Range Photogrammetry* menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan untuk diterapkan pada pekerjaan-pekerjaan pemetaan seperti menentukan dimensi fisik sebuah objek, penggambaran, maupun menyajikan informasi visual yang cepat dan akurat (Kusumadarma, 2008). Sementara Gularso, dkk. (2013) mengatakan pekerjaan pemetaan dengan wahana pesawat tanpa awak (UAV) dalam proses perencanaan, pelaksanaan serta tahap akhir foto udara format kecil tidak serumit proses foto udara konvensional meskipun area cakupannya tidak begitu luas.

Kombinasi fotogrametri dengan wahana UAV telah banyak diaplikasikan dalam bidang non topografi. Aplikasi yang berkembang antara lain dalam mendapatkan alternatif jalur pipa migas (Kentjana, 2013), visualisasi area lanskap (Danurwendi, 2012), penentuan volume gundukan hasil tambang nikel dengan cepat dan akurat (Utama, 2012), monitoring pergerakan struktur jembatan (Utomo, 2013), pemodelan kondisi bangunan Candi Borobudur (Andaru, dan Catur

Aries R., 2012), serta pemantauan deformasi (Hanifa, 2007).

Utomo (2013), mengatakan bahwa metode *Close Range Photogrammetry* untuk melakukan pengukuran dalam menentukan deformasi jembatan mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau atau memiliki dimensi yang kecil sehingga dapat dilakukan secara cepat dan akurat. Sedangkan dalam penelitian Hanifa (2007), pemantauan deformasi dilakukan dengan mengamati perubahan koordinat objek sebagai fungsi waktu.

## 2. Landasan Teori

Deformasi adalah perubahan bentuk geometri benda dari kondisi awal, ditinjau dari sudut pandang waktu (Chen, 1980). Perubahan yang terjadi perlu dianalisis, hal ini dilakukan dengan survei deformasi. Tujuan dari survei deformasi adalah untuk:

1. Menginformasikan status geometrik dari benda terdeformasi, yakni perubahan posisi, bentuk dan dimensinya.
2. Menginformasikan status fisik dari benda terdeformasi, yaitu keadaan dari tekanan internal (*internal stress*) dan relasi beban-deformasi.

Analisis deformasi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besarnya pergeseran dan parameter-parameter deformasi. Suatu objek dapat dikatakan mengalami deformasi, jika objek tersebut mengalami perubahan geometrinya. Besarnya perubahan ini dinyatakan dalam kecepatan pergeseran. Kecepatan pergeseran adalah besaran yang menyatakan perubahan suatu titik pantau dalam selang waktu tertentu sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di daerah pengamatan. Salah satu cara untuk menghitung besarnya kecepatan vektor pergeseran masing-masing titik adalah dengan melakukan analisis geometrik dengan menggunakan data hasil pengamatan geodetik untuk memperoleh data status geometrik sebagai efek respon suatu materi terhadap gaya deformasi yang bekerja. Teknologi UAV sangat sesuai untuk diaplikasikan dan dikembangkan dalam pemantauan deformasi, mengingat lokasi yang akan diukur sangatlah rawan ataupun susah dijangkau dengan alat lainnya. Pada

prinsipnya, pemantaua deformasi ini dilakukan dengan sistem perekaman titik target (*retro reflektif target*) yang terdistribusi secara merata di lokasi yang dipetakan dengan kamera non-metrik yang ditempatkan pada wahana UAV.

Perekaman titik target ini mengadopsi metode fotogrametri. Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1993).

*Close range photogrammetry* atau fotogrametri rentang dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. Prinsip dari metode ini yaitu, pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik objek pada bidang foto terletak satu garis dalam 1 ruang dinamakan kondisi kesegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*).

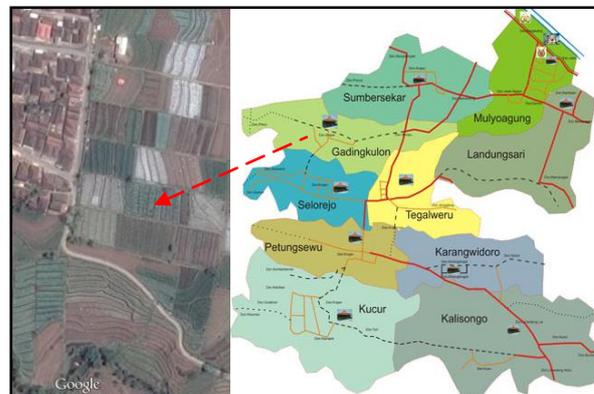
Pengukuran titik target dilakukan sesuai dengan jalur terbang UAV dan tinggi terbang yang disesuaikan dengan distribusi *retro reflektif target* yang nantinya terekam dalam setiap foto (minimal 6 retro dalam setiap foto). Pengukuran dilakukan dalam dua waktu yang dinyatakan *epoch* pertama dan *epoch* kedua. Selanjutnya, foto diolah dengan hitung perataan *self-calibrating bundle adjustment* sehingga didapatkan masing-masing nilai koordinat antar kedua *epoch* untuk dihitung vektor pergeserannya. Kecepatan vektor pergeseran selama pengamatan yang telah dihitung perlu dilakukan uji statistik agar secara kualitatif mengindikasikan baik atau tidaknya hasil pengolahan.

### 3. Metode Penelitian

Perencanaan penelitian ini akan membahas rangkaian prosedur yang dimulai dari penentuan lokasi penelitian, data dan peralatan penelitian, serta *flow chart* penelitian

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam waktu satu hari dengan lokasi penelitian adalah persil sawah di Desa Gading Kulon, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Koordinat lokasi penelitian berada di  $7^{\circ}55'56.18''\text{LS}$  dan  $112^{\circ}33'25.78''\text{BT}$ .



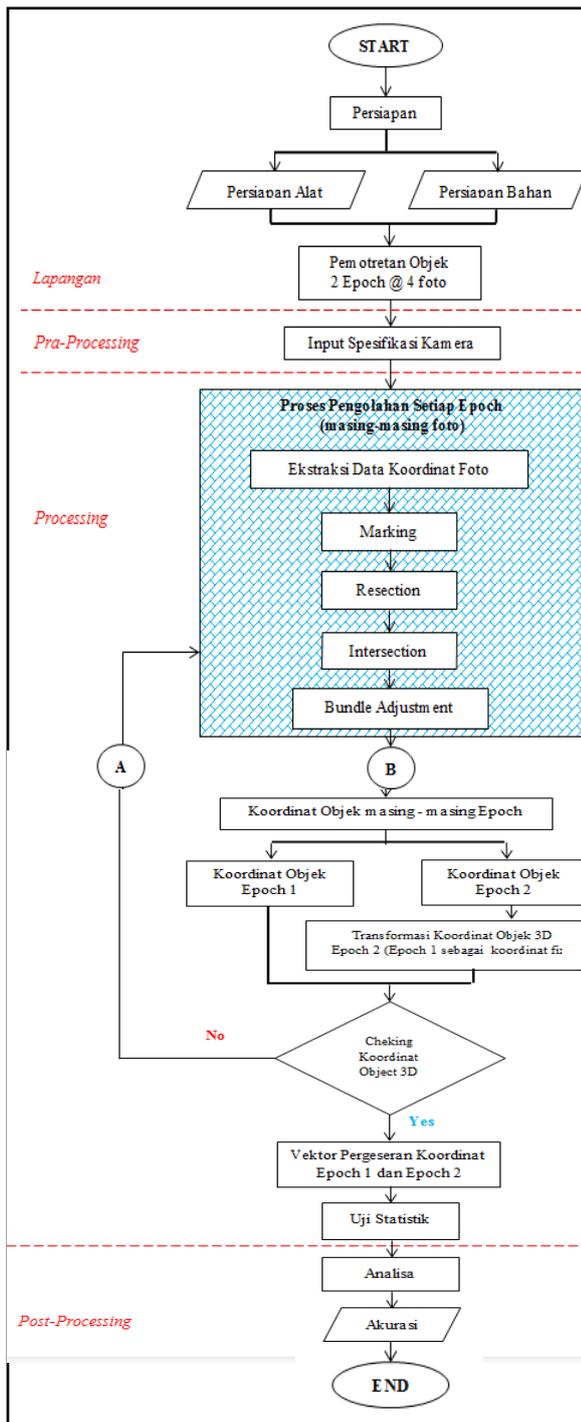
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat Keras (hardware)
  - a) Pesawat UAV jenis Hexacopter
  - b) Kamera non-metrik Sony Nex 5N sebagai sensor
  - c) Laptop Sony-Vaio Core i-5 dengan memory 4 GB
2. Retro reflektif target target yang digunakan untuk identifikasi koordinat objek.
3. Perangkat Lunak (software)
  - a) Australis V8  
Digunakan untuk pengolahan kalibrasi kamera, ekstraksi foto dan menentukan koordinat foto.
  - b) Software Ms. Excel 2010  
Digunakan untuk menentukan nilai pergeseran koordinat foto dan akurasi.
  - c) Software Statext v2.6  
Digunakan untuk mengetahui nilai distribusi Fisher dan distribusi *t-student* yang digunakan saat uji statistik.

### 3.3 Flow Chart Penelitian



Gambar 3.12 LokasiFlow Chart Penelitian Penelitian

Keterangan Flow Chart Penelitian:

Kegiatan lapangan merupakan kegiatan awal untuk pengambilan data lapangan dengan metode *Close Range Photogrammetry* dengan menggunakan wahana Hexacopter dan kamera non metrik.

Pengolahan data dapat dibedakan menjadi tiga tahap pengolahan, antara lain:

1. Pra Pengolahan (*Pra-Processing*)  
 Pada tahapan ini, hal yang dilakukan adalah:
  - a. Melakukan input spesifikasi kamera dengan menggunakan software Australis V8 untuk pembuatan *project*.
  - b. Menentukan koordinat foto dalam ruang 3D dengan software Australis V8 untuk data foto *epoch-1* dan *epoch-2*.
2. Pengolahan (*Processing*)  
 Tahapan dalam proses ini antara lain:
  - a. Menentukan vektor pergeseran dari nilai koordinat foto *epoch-1* dengan *epoch-2* yang dihitung dengan menggunakan Ms. Excel 2010 (asumsi koordinat *epoch-1* tetap).
  - b. Melakukan uji statistic untuk melakukan analisa deformasi yang berupa nilai kestabilan dari proses hitungan Ms. Excel 2010 dengan tingkat kepercayaan 95%.
3. Akhir Pengolahan (*Post-Processing*)  
 Proses yang dilakukan pada tahapan ini adalah:
  - a. Melakukan anasisa dari hasil uji statistik terhadap nilai pergeseran, jika nilai vektor pergeseran kurang dari nilai pada tabel F maka koordinat objek dinyatakan stabil dan sebaliknya.
  - b. Menentukan akurasi yang dihasilkan dari hasil pengukuran tersebut.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari pengolahan data foto dalam pemantauan deformasi meliputi parameter kamera (IO/EO), koordinat objek dan vektor pergeseran.

### 4.1 Parameter Kamera

Kalibrasi kamera bertujuan untuk mendapatkan parameter orientasi kamera, baik *Interior Orientation* maupun *Exterior Orientation*. Pengolahan kalibrasi kamera dilakukan menggunakan software Australis V8 secara otomatis.

1. Berikut adalah parameter *Interior Orientation* (orientasi dalam).

Tabel 4.1 Nilai Parameter Interior Orientation

Parameter Kamera		EPOCH-1	EPOCH-2
		Nilai	Nilai
Panjang Fokus	c*	19.2198	19.0268
Principle Point	Xp*	0.3325	-0.3915
	Yp*	0.0436	-0.3715
Distorsi Radial	K1**	4.77314E-04	5.04169E-04
	K2**	-3.30524E-07	-1.00920E-06
	K3**	-2.02474E-09	2.94769E-09
Distorsi Desentring	P1**	-7.05287E-05	2.43959E-04
	P2**	2.34150E-04	-1.52439E-04
Parameter Affinity	B1**	-1.04027E-37	-1.78373E-38
	B2**	4.65522E-38	-2.95353E-38
Distorsi Fisheye	K4**	2.36999E-62	6.43479E-63
	K5**	3.66321E-68	1.50152E-68

Keterangan: \* satuan (mm) dan \*\* tanpa satuan.

Dari tabel 4.1 dapat dianalisis bahwa nilai untuk masing-masing parameter antara kedua *epoch* tidaklah berbeda jauh, hanya saja untuk parameter panjang fokus (c) mempunyai selisih 0,193 mm. Karena hasil kalibrasi ini menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan, sehingga dapat disimpulkan hasil kalibrasi kamera stabil.

2. Berikut adalah parameter *Exterior Orientation* (orientasi luar).

Tabel 4.2 Nilai Parameter Exterior Orientation

Image	Koordinat (mm)			Parameter Rotasi (° ' ")		
	Xc	Yc	Zc	ω	φ	K
<b>EPOCH-1</b>						
DSC01620	156.5027	22.2015	-133.6436	90°4'42.99"	0°4'15.73"	0°0'4.43"
DSC01635	-19699.6066	17037.5044	-63970.3130	100°55'1"	0°13'36.84"	0°45'3.35"
DSC01637	-24094.3523	-1037.8764	-23224.5103	102°16'18.7"	-1°38'54.89"	2°57'19.97"
DSC01654	15042.7018	40217.3953	-30371.0413	96°22'52.2"	5°42'17.6"	8°32'2"
<b>EPOCH-2</b>						
DSC01844	-42569.1598	57183.1779	-61719.1555	129°52'4.07"	8°27'56.99"	1°59'26.73"
DSC01864	17208.0367	52229.2937	-940.6671	82°26'7.5"	52°45'50.27"	104°1'59.91"
DSC01877	-52438.1902	46624.5017	68651.7864	37°51'16.93"	0°22'40.12"	-169°31'16.68"
DSC01897	-124836.8229	48193.7943	-47116.5452	116°33'51.74"	-40°17'16.81"	-50°34'19.77"

Nilai koordinat dan parameter rotasi ditentukan secara otomatis terhadap posisi stasiun kamera setelah proses *bundle adjustment*. Nilai koordinat disini menggunakan sistem koordinat lokal dengan satuan mm sesuai *project setting*.

4.2 Koordinat Objek

Hasil *output* dari pengolahan fotogrametri yang lebih dikenal *image processing* adalah representasi spasial suatu objek dalam bidang 3D. Penentuan koordinat dilakukan untuk setiap foto, yaitu pengukuran masing-masing *centroid* (benang silang pusat retro reflektif target) dalam sistem

kartesian 2D yang akan dikonversi menjadi sistem kartesian 3D.

1. Koordinat Epoch-1

Tabel 4.3 Koordinat 3D EPOCH-1 dan Standar Deviasinya

TITIK	EPOCH-1					
	KOORDINAT (mm)			STANDAR DEVIASI (mm)		
	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1	-20755.7574	115150.3893	-1950.9330	6.992	11.428	14.280
2	-25479.8231	114737.6618	-2370.2562	6.353	7.428	9.445
3	-30902.3844	114299.1163	-3023.9975	6.825	6.605	5.480
4	-36137.2376	113780.6676	-3307.9763	6.474	6.614	5.974
5	-40750.7765	113341.6031	-4108.1188	6.335	6.403	8.878
6	-45794.7898	112846.8350	-4891.1134	10.438	7.760	12.635
7	-19919.4622	115237.9156	-6842.9600	6.839	8.475	9.376
8	-25208.9828	114727.3649	-7281.6708	4.041	6.543	5.854
9	-30480.7285	114261.5135	-7850.3554	4.128	7.500	3.434
10	-35248.0119	113828.7156	-8439.8541	3.812	7.514	3.376
11	-39919.0357	113370.7465	-8963.9884	4.231	6.564	5.071
12	-44712.7729	112883.9543	-9512.9139	8.428	6.896	7.376
13	-19830.8846	115511.9908	-11830.3469	6.735	7.020	5.131
14	-24753.2161	115097.7070	-12437.5555	3.603	7.643	3.634
15	-29900.5249	114631.4109	-13042.4435	3.453	9.291	2.617
16	-35243.6252	114446.7292	-13577.1254	3.380	10.730	2.359
17	-39549.0374	113786.5430	-14087.7938	3.610	7.271	2.799
18	-44489.4524	113123.5184	-14571.2616	7.787	6.712	4.430
19	-19256.8315	115496.9703	-16605.0723	6.429	7.868	6.556
20	-24285.7664	115066.5517	-17131.6161	4.006	7.154	4.966
21	-29256.2183	114635.9515	-17741.1366	4.636	8.068	3.650
22	-34787.9474	114375.8664	-18412.9002	4.455	8.089	2.836
23	-39037.5238	113770.6153	-18800.7208	4.413	5.987	4.090
24	-43959.1649	113189.3163	-19275.8825	7.068	8.278	6.470
25	-19108.4040	115889.8392	-21453.2505	6.348	8.009	11.891
26	-24047.1215	115428.1466	-22082.9223	6.279	6.766	8.673
27	-28936.2209	114930.5898	-22797.6783	7.798	6.976	6.021
28	-33932.2475	114641.6012	-23304.4995	7.817	7.359	4.701
29	-38449.1316	114123.0802	-23793.7199	7.149	7.283	6.831
30	-43386.9292	113543.4474	-24372.1354	7.352	11.950	10.789
<b>RMS TOTAL</b>				<b>6.167</b>	<b>7.866</b>	<b>7.042</b>

Penentuan koordinat 3D pada *epoch-1* ini dilakukan secara lokal. Nilai standar deviasi diperoleh dari nilai residu pengamatan setelah proses hitungan *bundle adjustment*. Akumulasi dari nilai standar deviasi menyatakan nilai RMS. Untuk RMS total dari masing-masing komponen X, Y dan Z mempunyai nilai >1 yang menyatakan akurasi pengukuran pada jaringan *close range photogrammetry*. Nilai RMS yang besar disebabkan karena terlalu sedikitnya foto yang membentuk geometri dalam penentuan koordinat (*intersection geometry*) dan kondisi foto yang tidak memenuhi persyaratan *self calibration* (foto harus mempunyai orientasi *portrait* dan *landscape* atau mempunyai rotasi ortogonal).

2. Koordinat Epoch-2

Tabel 4.4 Koordinat 3D EPOCH-2 dan Standar Deviasinya

TITIK	EPOCH-2					
	KOORDINAT (mm)			STANDAR DEVIASI (mm)		
	X	Y	Z	dX	dY	dZ
1	-20763.0588	115149.9979	-1960.1473	6.718	4.863	7.659
2	-25463.9925	114764.5454	-2365.2132	8.876	3.899	7.244
3	-30863.3800	114343.2593	-3012.9767	10.786	3.935	6.645
4	-36087.0707	113841.0645	-3294.2341	10.711	4.002	6.472
5	-40694.7995	113422.1360	-4086.5356	9.154	4.177	6.515
6	-45725.6470	112950.5260	-4876.8557	8.797	5.477	7.273
7	-19927.1085	115193.3749	-6851.8170	5.984	4.077	7.515
8	-25205.9332	114720.7400	-7276.7055	7.196	4.020	6.276
9	-30467.3507	114289.0096	-7837.7934	9.028	4.584	5.002
10	-35219.1274	113870.8636	-8424.9401	8.726	4.591	4.330
11	-39881.5108	113440.1513	-8942.3661	6.976	4.117	4.787
12	-44668.5323	112972.5044	-9495.2675	5.866	4.134	6.377
13	-19842.4673	115467.1439	-11831.3365	7.147	3.902	7.089
14	-24748.0565	115078.2592	-12436.1759	3.637	4.200	5.064
15	-29886.0161	114633.3681	-13026.9312	5.188	4.942	3.540
16	-35224.5466	114469.2886	-13561.7629	5.241	4.926	3.990
17	-39530.5612	113810.3112	-14070.7580	4.815	4.331	5.760
18	-44465.8764	113196.6714	-14554.8795	4.662	3.977	8.407
19	-19284.0216	115433.6699	-16594.7942	11.068	4.178	7.829
20	-24305.5116	115031.7096	-17117.1108	5.393	3.948	5.010
21	-29261.7788	114618.6694	-17728.8008	4.001	4.538	3.638
22	-34785.9773	114368.5763	-18405.9383	4.271	4.552	5.388
23	-39032.1706	113775.9743	-18799.2516	4.691	4.113	7.860
24	-43959.1346	113221.6217	-19264.6881	5.610	4.188	11.051
25	-19136.6007	115812.1386	-21442.3915	18.501	5.486	10.198
26	-24072.2621	115374.2816	-22079.9871	11.822	4.047	6.937
27	-28958.4757	114890.8154	-22788.8488	7.657	3.878	5.429
28	-33938.0734	114616.8087	-23311.8390	6.789	3.944	6.997
29	-38464.4895	114131.6644	-23785.2106	7.222	4.127	9.680
30	-43394.1367	113542.8816	-24378.4334	8.857	5.482	13.147
RMS TOTAL				8.093	4.381	7.103

Nilai standar deviasi diperoleh dari nilai residu pengamatan setelah proses hitungan *bundle adjustment*. Akumulasi dari nilai standar deviasi menyatakan nilai RMS. Untuk RMS total dari masing-masing komponen X, Y dan Z mempunyai nilai < 1 yang menyatakan akurasi pengukuran pada jaringan *close range photogrammetry*. Nilai RMS yang besar disebabkan karena terlalu sedikitnya foto yang membentuk geometri dalam penentuan koordinat (*intersection geometry*).

### 4.3 Vektor Pergeseran

Vektor pergeseran menyatakan perubahan suatu titik pantau dalam selang waktu tertentu sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di lokasi pengamatan. Berikut hasil perhitungan vektor pergeseran koordinat.

Tabel 4.5 Nilai Vektor Pergeseran Koordinat

TITIK	Koordinat (mm)			
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta S_{12}$
1	-7.301	-0.391	-9.214	11.763
2	15.831	26.884	5.043	31.606
3	39.004	44.143	11.021	59.928
4	50.167	60.397	13.742	79.708
5	55.977	80.533	21.583	100.423
6	69.143	103.691	14.258	125.443
7	-7.646	-42.541	-8.857	44.121
8	3.050	-6.625	4.965	8.823
9	13.378	27.496	12.562	33.058
10	28.885	42.148	14.914	53.228
11	37.525	69.405	21.622	81.809
12	44.241	88.550	17.646	100.547
13	-11.583	-44.847	-0.990	46.329
14	5.160	-19.448	1.380	20.168
15	14.509	0.957	15.512	21.262
16	19.079	22.559	15.363	33.301
17	18.476	23.768	17.036	34.591
18	23.576	73.153	16.382	78.585
19	-27.190	-63.300	10.278	69.655
20	-19.745	-34.842	14.505	42.594
21	-5.560	-17.282	12.336	21.949
22	1.970	-7.290	6.962	10.271
23	5.353	5.359	1.469	7.716
24	0.030	32.305	11.194	34.190
25	-28.197	-77.701	10.859	83.369
26	-25.141	-53.865	2.935	59.516
27	-22.255	-39.774	8.829	46.425
28	-5.826	-24.793	-7.3398	26.504
29	-15.358	8.5848	8.5098	19.544
30	-7.208	-0.566	-6.298	9.588

Nilai vektor pergeseran pada tabel 4.6 mempunyai nilai yang bervariasi, dimana notasi  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  menyatakan vektor pergeseran setiap komponen koordinat. Dari nilai delta koordinat tersebut dapat dianalisis bahwa kualitas tingkat keabuan (*grayscale*) pada *centroid retro reflektif target* sangat berpengaruh saat proses *marking* sehingga didapatkan nilai yang bervariasi dan nilai yang dihasilkan lebih dari satu (>1 mm). Hal ini menunjukkan bahwa sedikitnya jumlah foto yang diproses mempengaruhi kualitas perpotongan geometri (*intersection geometry*) dalam penentuan koordinat objek.

### 4.4 Uji Global

Uji Global dilakukan setelah melakukan hitung perataan untuk menguji nilai varian aposteriori ( $\hat{\sigma}_0^2$ ) terhadap nilai varian apriori ( $\sigma_0^2$ ).

Tabel 4.6 Uji Global

Uji Vektor Pergeseran		
Nilai uji = $\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2}$	Nilai Batas F (95%)	Hasil Uji
0.073	2.640	Diterima

Nilai uji vektor pergeseran pada tabel 4.7 dapat dilihat bahwa nilai uji lebih kecil dari nilai batas yang didapatkan dari tabel Fisher. Hal ini membuktikan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% memberikan hasil data pengukuran tidak dihindangi kesalahan kasar.

#### 4.5 Uji Titik Pantau

Vektor pergeseran menyatakan perubahan suatu titik pantau dalam selang waktu tertentu sehingga bisa menjadi indikator terjadinya deformasi di lokasi pengamatan. Kestabilan titik pantau dapat diketahui dari rasio perbandingan nilai standar deviasi vektor pergeseran ( $\sigma_{\Delta S}$ ) dan vektor pergeseran ( $\Delta S_{12}$ ) dengan nilai batas yang didapatkan dari table *t-student*. Nilai kestabilan titik pantau dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Uji Titik Pantau

TITIK	RASIO	Nilai Batas	Hasil Uji
	$\sigma_{\Delta S} / \Delta S_{12}$	<i>T-Student</i> 95%	
1	1.404	1.657	Stabil
2	0.482	1.657	Stabil
3	0.307	1.657	Stabil
4	0.225	1.657	Stabil
5	0.163	1.657	Stabil
6	0.130	1.657	Stabil
7	0.221	1.657	Stabil
8	1.294	1.657	Stabil
9	0.394	1.657	Stabil
10	0.300	1.657	Stabil
11	0.174	1.657	Stabil
12	0.139	1.657	Stabil
13	0.234	1.657	Stabil
14	0.542	1.657	Stabil
15	0.852	1.657	Stabil
16	0.490	1.657	Stabil
17	0.446	1.657	Stabil
18	0.146	1.657	Stabil
19	0.188	1.657	Stabil
20	0.335	1.657	Stabil
21	0.448	1.657	Stabil
22	0.812	1.657	Stabil
23	2.502	1.657	Tidak Stabil
24	0.248	1.657	Stabil
25	0.146	1.657	Stabil
26	0.231	1.657	Stabil
27	0.318	1.657	Stabil
28	0.384	1.657	Stabil
29	1.080	1.657	Stabil
30	2.076	1.657	Tidak Stabil

Nilai rasio hasil perbandingan standar deviasi dengan vektor pergeseran untuk masing-masing titik pantau sangat beragam. Berdasarkan tabel 4.7 dapat diketahui bahwa nilai vektor pergeseran untuk masing-masing titik pantau lebih kecil daripada nilai batas yang didapatkan dari tabel *t-student*, sehingga

semua titik pantau dinyatakan stabil. Sedangkan untuk titik 23 dan 30 mempunyai nilai vektor pergeseran lebih besar dari nilai batas sehingga dinyatakan tidak stabil. Dari nilai kestabilan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa titik pantau yang berlokasi di persil sawah tidak mengalami deformasi selama pengamatan berlangsung meskipun titik 23 dan 30 mengalami deformasi.

#### 4.6 Akurasi Koordinat

Akurasi koordinat 3D yang dihasilkan dari pemantauan deformasi menggunakan metode *close range photogrammetry* untuk masing-masing *epoch* ditunjukkan dalam table 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Skala Ketelitian

		Akurasi		Epoch	
		X	mm	1	2
Koordinat Objek	Y	mm	7.866	4.381	
	Z	mm	7.042	7.103	
	Total	mm	7.059	6.712	
	Foto	Pixels	0.11	0.17	

Nilai akurasi koordinat X, Y, dan Z (dalam mm) diperoleh dari akumulasi standar deviasi total untuk masing-masing X, Y dan Z (tabel 4.4 dan table 4.5). Nilai akurasi total (dalam mm) pada *epoch-2* lebih kecil 0.347 dari nilai akurasi *epoch-1*. Sedangkan akurasi *pixels epoch-1* mempunyai akurasi yang lebih kecil 0.06 dari nilai *epoch-2*, hal ini dipengaruhi dari proses penentuan *centroid* pada *retro reflektif target*. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa akurasi koordinat objek untuk *epoch-2* lebih bagus, tetapi untuk akurasi *pixels*-nya masih besar dibandingkan akurasi *epoch-1*.

Sedangkan akurasi pengukuran pengamatan deformasi ini dinyatakan dengan matrik varian-kovarian pergeseran koordinat ditunjukkan dalam tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Matrik Ketelitian Pengukuran

TITIK	Matrik Varian-Kovarian			TITIK	Matrik Varian-Kovarian		
	C <sub>as</sub>				C <sub>as</sub>		
	C <sub>ax</sub>	C <sub>ay</sub>	C <sub>az</sub>		C <sub>ax</sub>	C <sub>ay</sub>	C <sub>az</sub>
1	104.382	0	0	16	43.082	0	0
	0	172.523	0		0	154.048	0
	0	0	288.047		0	0	23.995
2	132.738	0	0	17	40.072	0	0
	0	78.453	0		0	79.343	0
	0	0	134.771		0	0	45.631
3	181.348	0	0	18	91.176	0	0
	0	65.258	0		0	66.736	0
	0	0	82.141		0	0	100.930
4	174.185	0	0	19	181.111	0	0
	0	65.820	0		0	89.361	0
	0	0	86.207		0	0	115.044
5	137.512	0	0	20	50.019	0	0
	0	64.665	0		0	73.405	0
	0	0	134.369		0	0	55.688
6	206.100	0	0	21	41.582	0	0
	0	100.439	0		0	94.352	0
	0	0	234.804		0	0	29.809
7	91.372	0	0	22	42.222	0	0
	0	99.151	0		0	95.343	0
	0	0	158.630		0	0	41.142
8	75.861	0	0	23	46.006	0	0
	0	65.066	0		0	58.366	0
	0	0	81.720		0	0	87.329
9	109.656	0	0	24	90.440	0	0
	0	85.075	0		0	93.806	0
	0	0	41.234		0	0	183.329
10	100.782	0	0	25	423.091	0	0
	0	85.597	0		0	109.595	0
	0	0	33.721		0	0	269.318
11	73.808	0	0	26	198.429	0	0
	0	66.476	0		0	69.824	0
	0	0	54.015		0	0	136.318
12	116.539	0	0	27	132.462	0	0
	0	71.588	0		0	70.164	0
	0	0	105.408		0	0	73.066
13	106.503	0	0	28	119.014	0	0
	0	72.417	0		0	76.613	0
	0	0	84.387		0	0	79.145
14	29.066	0	0	29	114.846	0	0
	0	83.626	0		0	76.564	0
	0	0	43.606		0	0	156.471
15	43.099	0	0	30	147.642	0	0
	0	122.018	0		0	188.358	0
	0	0	21.985		0	0	323.070

Tabel 4.9 menunjukkan matrik ketelitian dari masing-masing komponen titik pantau deformasi dengan nilai ketelitiannya dinyatakan pada diagonal metrik.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 1. Kesimpulan

1. Metode *close range photogrammetry* berbasis UAV dapat diaplikasikan dalam pemantauan deformasi. Metode ini sangat baik dalam pengamatan pergeseran posisi koordinat 3D karena ketelitian yang digunakan cukup tinggi dan proses pengambilan data dapat dilakukan dengan cepat.
2. Nilai pergeseran titik pantau terkecil terdapat pada titik 23 dengan pergeseran sebesar 7.716 mm, sedangkan pergeseran

terbesar terdapat pada titik 6 sebesar 125.443 mm.

3. Dari data vektor pergeseran koordinat 3D dan hasil uji statistik dengan tingkat kepercayaan 95% dapat disimpulkan bahwa semua titik pantau tidak mengalami pergeseran koordinat yang signifikan, sehingga titik pantau tidak mengalami deformasi.
  4. Hasil uji coba pemantauan deformasi menggunakan metode *close range photogrammetry* berbasis UAV di persil sawah menghasilkan akurasi pengolahan data foto yang berbeda untuk *epoch-1* dan *epoch-2*. Pada *epoch-1* diperoleh akurasi  $\pm 7.059$  mm, sedangkan akurasi *epoch-2* adalah  $\pm 6.712$  mm.
  5. Nilai ketelitian pengukuran koordinat 3D titik pantau terkecil terdapat pada titik 15 dengan pergeseran sebesar 21.985 mm, sedangkan pergeseran terbesar terdapat pada titik 25 sebesar 423.091 mm
- ### 2. Saran

Berikut beberapa saran yang penulis sampaikan.

1. Kalibrasi kamera merupakan hal yang penting untuk mendapatkan hasil yang baik, maka jumlah pengambilan data kalibrasi kamera yang banyak akan lebih baik sebagai pembandingan antar data kalibrasi.
2. Kamera yang digunakan dalam pemotretan foto sebaiknya memiliki resolusi tinggi, sehingga hasil foto yang diperoleh lebih tajam dan memudahkan dalam proses *marking*. Hal ini berhubungan dengan jarak terbang UAV yang tinggi menyulitkan dalam hal akurasi proses *marking*.
3. Usahakan pengambilan data gambar dengan sudut sekitar 60-90° untuk mendapatkan hasil yang baik dan pengaturan waktu untuk menghilangkan efek buram pada saat pemotretan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andaru, Ruli dan Catur Aries R. 2012. *Pemodelan Kondisi Bangunan Candi Borobudur pasca Erupsi Merapi dengan UAV-Based Fotogrametri, Jurnal Penanggulangan Bencana Volume 3 Nomor 2*, hal: 51-58.
- Armenakis C., 1983. *Subsidence Determination by Aerial Photogrammetry*. Departement of Surveying Engineering. University of New Brunswick. Canada.
- Armenakis C., 1987. *Displacement Monitoring by Integrating On-line Photogrammetric Observations with Dynamic Information*. University of New Brunswick. Canada.
- Atkinson. 1980. *Development in Close Range Photogrammetry-I*. Applied Science Publishers. London.
- Atkinson. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Brown, D.C., 1974. *Evolution, Application and Potential of The Bundle Method of Photogrammetric Triangulation*, Geodetic Services, Inc., Melbourne, Florida.
- Chen, Y.Q., Chrzanowski, A. 1980. *An Overview of The Physical Interpretation of Deformation Measurement*. Departement of Surveying Engineering, University of New Brunswck. Canada.
- Danurwendi, Cahaya. 2012. *Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat dalam Bidang Arsitektur Lansekap (Studi Kasus: Campus Center Institut Teknologi Bandung)*. Tugas Akhir. Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Effendi, Fauzi. 2000. *Teknik Close Range Photogrammetry Untuk Pemantauan Deformasi*. Skripsi Sarjana Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Emilio, Arco. 2005. *Pemanfaatan INSAR untuk Studi Deformasi Permukaan Bumi, Studi Kasus Southern California*. Tugas Akhir Sarjana. Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Gularso, dkk. 2013. *Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680 (Studi kasus: Area Sekitar Kampus UNDIP)*. Jurnal Geodesi UNDIP.
- Hanifa, Nuraini Rahma. 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik Auto-Focus untuk Pemantauan Deformasi*. Tesis Magister. Program Studi Geodesi. Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kentjana, Arina Nada. 2013. *Pemetaan Topografi untuk Rencana Jalur Pipa Migas dengan Metode Fotogrametri Berbasis Wahana Udara Tanpa Awak (UAV) (Wilayah Studi: Cepu)*. Tugas Akhir. Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Kusumadarma, Andhika. 2008. *Aplikasi Close Range Photogrammetry dalam Pemetaan Bangunan Rekayasa dengan Kamera Dijital Non Metrik Terkalibrasi*. Tugas Akhir. Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Leitch, Kenneth. 2002. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. Disertasi New Mexico State University. Meksiko.
- Ma'ruf, B. 2001. *Analisis Deformasi Gunung Api Merapi dengan Metode Geodetik-GPS*. Tesis Magister. Program Studi

- Geodesi. Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Mikhail, Edward M. 1976. *Observation and Least Squares*. Harper & Row. Publisher. Inc. New York.
- Mikhail, Edward M. 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. Wiley: PAP/CDR edition, USA.
- Mulyani, dkk. 2012. *Autolanding Pada UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Menggunakan Kontroler PID-Fuzzy*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1 No. 1. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknologi Industri ITS. Surabaya.
- Santoso, B. 2004a. *Review Fotogrametri: Teknik Pengadaan Data dan Sistem Pemetaan*. Program Megister Departemen Teknik Geodesi dan Geomatika ITB. Bandung.
- Saputra, Darmawan. 2013. *Rancang Bangun Prototype Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan Tiga Rotor*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 2 No. 1. Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknologi Industri ITS. Surabaya.
- Shofiyanti, Rizatus. 2011. *Teknologi Pesawat Tanpa Awak untuk pemetaan dan Pemantauan Tanaman dan Lahan Pertanian*. Jurnal Informatika Pertanian Vol. 20 No. 2, Desember 2011: 58-64.
- Suwardhi, D. 2007. *Development of Multi Resolution Dense Correspondence Models to Enhance Craniofacial Geometric Morphometric Database System*. Draft Disertasi. University teknologi Malaysia.
- Utama, Ihsan Ramadhan. 2012. *Aplikasi Fotogrametri Rentang Dekat dengan Menggunakan Wahana Unmanned Aerial Vehicle untuk Penentuan Volume Hasil Tambang (Studi Kasus: Pertambangan Nikel PT. Weda Bay Nickel)*. Tugas Akhir. Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Utomo, Amran Nur. 2013. *Monitoring Pergerakan Struktur Jembatan di Semarang Berbasis Fotogrametri jarak Dekat (Studi Kasus: Jembatan Tol Semarang Solo Seksi 1 Semarang-ungaran di Km 20 di Wilayah Susukan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang)*. Jurnal Geodesi Undip. Vol. 2, No.2 Thn. 2013. ISSN: 2337-845X. Semarang.
- Wang, X & Clarke, T.A. 1998. *Separate Adjustment of Close Range Photogrammetric Measurement*. ISPRS Vol. XXXII, Part 5, pp.177-184.
- Widjajanti, N. 1997. *Analisis Deformasi-Satus Geometrik Dua Dimensi dengan Pendekatan Generalisasi Matrik Kebalikan*. Tesis. Program Studi Geodesi. Program Pascasarjana. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Wolf, P. R. 1993. *Element of Photogrammetry, dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*. Gadjah Mada University Press.
- Wolf, P. R. dan Ghilani C.D., 1997. *Adjustment Computations, Statistic and Least Squares in Surveying and GIS*. John Wiley & Sons, Inc., New York,
- [www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx](http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx) (diakses pada tanggal 3 Maret 2015).
- [www.ristek.go.id/index.php/module/News+News/id/10199](http://www.ristek.go.id/index.php/module/News+News/id/10199) (diakses pada tanggal 3 Maret 2015).