

**ANALISIS DEFORMASI DAN VOLUMETRIK
MENGGUNAKAN METODE PENGAMATAN 3 DIMENSI
UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)
(Studi Kasus: Brown Canyon, Semarang)**

Thoriq Fajar Setiawan, Yudo Prasetyo, Haniah^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : Thoriq.F.Setiawan@gmail.com

ABSTRAK

Kawasan Brown Canyon merupakan destinasi wisata baru di Kota Semarang. Namun kawasan tersebut masih aktif digunakan untuk aktivitas tambang, selain itu Brown Canyon juga belum terurus dengan baik untuk kepentingan pariwisata. Diperlukan tindakan lebih lanjut apabila ingin menjadikan Brown Canyon kawasan pariwisata di masa yang akan datang, termasuk melakukan analisis dinamika aktivitas pertambangan di Brown Canyon.

Pada penelitian kali ini dilakukan analisis dinamika fisik dari Brown Canyon menggunakan metode kombinasi pengamatan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *Global Positioning System* (GPS) dan survei terestris untuk menganalisis volume dan deformasi yang terjadi di Brown Canyon. Hal ini dilakukan dengan cara menganalisis perubahan volume dengan menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM) yang terbentuk dari data multitemporal foto udara UAV. Pembentukan data DEM tersebut didapat dari data foto udara yang diolah menggunakan prinsip fotogrametri, yang kemudian dikonversi kedalam bentuk *pointclouds* dan kemudian menjadi data DEM. Hasil dari analisis perubahan volume diverifikasi menggunakan data deformasi dari DInSAR untuk mendapat data yang lebih realistik. Hasil dari pengolahan data dilakukan validasi menggunakan metode terestris untuk mengetahui kondisi topografi sebenarnya.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan penurunan volume yang terjadi Brown Canyon menurut analisis DEM dan sudah terverifikasi dengan data DInSAR, penurunan volume yang terjadi adalah sebesar 14070,7 meter kubik terhitung dari tanggal 25 Maret 2016 hingga 15 April 2016. Hasil tersebut sudah meliputi perubahan volume akibat kegiatan tambang dan faktor lain seperti genangan air, deformasi jalan dan pertumbuhan vegetasi. Dengan hasil analisis pada penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan pihak terkait untuk pengambilan keputusan mengenai pengembangan Brown Canyon untuk kedepannya dibidang pertambangan dan pariwisata.

Kata Kunci: Brown Canyon, Deformasi, DInSAR, Fotogrametri, UAV.

ABSTRACT

Brown Canyon area is a new tourist destination in Semarang. However the area is still being used for mining activities because of that the Brown Canyon also has not been well maintained for tourism purposes. Further actions are required if we want to make Brown Canyon as a tourism area in the future, including do some dynamical activity mining analysis in Brown Canyon.

In this research, physical dynamic of Brown Canyon is analyzed using a combination method of Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Global Positioning System (GPS) and terrestrial survey to analyze the volume and deformation in Brown Canyon. It has done by volume changes analysis using Digital Elevation Model (DEM) which is created from the multitemporal data using an UAV aerial images. The DEM data was built by constructed from aerial images which is processed using the principles of photogrammetry and converted into pointclouds data to and become DEM data. Later, this results of volume change analysis have to verified using deformation data from DInSAR in order to acquire realistic results. The result of data processing will be validate with terrestrial surveying to know the real topography.

The research results have been indicated decreasing volume in Brown Canyon based on the DEM analysis which is has been verified by the DInSAR data. There are 14,070.7 cubic meters decreasing volume in Brown Canyon calculated from March 25, 2016 until April 15, 2016. This result include changes in volume due to mining activities and other factors such as pond, road deformation and vegetation growth. The result in this research is expected to be consideration for related parties on decision making regarding the development of Brown Canyon for future mining and tourism purposes.

Keywords : Brown Canyon, Deformation, DInSAR, Photogrammetry and UAV.

^{*)} Penulis, Penanggung jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Brown Canyon merupakan kawasan wisata yang terletak di Semarang, Jawa Tengah tepatnya di kelurahan Rowosari, kecamatan Tembalang, kota Semarang yang berupa tebing-tebing dan topografi tanah yang memiliki bentuk khas.

Brown Canyon merupakan kawasan pertambangan yang aktif sehingga jika pertambangan terus berlanjut morfologi fisik Brown Canyon akan mengalami perubahan dari masa ke masa. Maka dari itu, untuk upaya pengembangan jangka panjang Brown Canyon sebagai kawasan wisata yang unggul diperlukan kajian mengenai Brown Canyon, termasuk mengenai kajian mengenai dinamika fisik bumi di Brown Canyon baik itu dikarenakan pengaruh alam maupun tindakan manusia seperti pertambangan. Diantara yang dapat dilakukan adalah menganalisis deformasi dan volumetrik di kawasan Brown Canyon. Pada Geodesi untuk menganalisis deformasi dan volumetrik suatu kawasan dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya metode terestris, fotogrametri, dan penginderaan jauh. Metode terestris memiliki keunggulan dalam keakuratan dalam pengamatan deformasi posisi namun metode terestris memiliki kelemahan dalam operasional pengamatan dilapangan yang membutuhkan waktu yang lama, metode terestris ini kurang tepat untuk menganalisa wilayah yang luas dalam waktu yang singkat. Sedangkan metode penginderaan jauh, dalam hal ini DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) memiliki kemampuan akuisisi data dengan waktu yang cepat dengan cakupan area yang luas. Meskipun metode penginderaan jauh sendiri masih memiliki kelemahan. Pada analisa volumetrik dari kawasan Brown Canyon secara multi temporal dapat dilakukan dengan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) atau pesawat tanpa awak untuk mendapatkan foto udara kawasan Brown Canyon, yang nantinya foto tersebut akan menjadi data primer yang digunakan untuk melakukan analisa volumetrik. Penggunaan UAV sendiri memiliki keunggulan dari efisiensi pelaksanaan pengukuran lapangan dimana pengukuran dapat dilakukan dengan waktu yang singkat dan mampu mencakup area yang luas juga dengan biaya yang terjangkau.

Dengan melakukan kajian analisis deformasi dan volumetrik di kawasan Brown Canyon diharapkan dapat membantu pihak terkait sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk pengembangan jangka panjang Kawasan Brown Canyon. Sehingga diharapkan akan mewujudkan pengambilan keputusan yang tepat dalam menyelenggarakan pembangunan di sektor pariwisata.

I.2. Perumusan Masalah

Analisis deformasi dan volumetrik menggunakan kombinasi metode UAV dan DInSAR, rumusan masalah penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis volumetrik di kawasan Brown Canyon yang diamati secara multi temporal dengan menggunakan teknologi UAV ?
2. Bagaimana analisis deformasi di kawasan Brown Canyon berdasarkan hasil pengolahan volume dari pengamatan UAV dengan verifikasi menggunakan metode DInSAR (Citra Sentinel-1) ?
3. Bagaimana hasil validasi kualitas data DEM pembentuk volume Brown Canyon dengan menggunakan metode pengamatan Total Station ?

I.3. Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Deformasi dan volumetrik yang dianalisis di kawasan Brown Canyon adalah deformasi dan volumetrik yang terjadi secara umum baik yang dipengaruhi faktor alam maupun faktor tindakan manusia.
2. Data dari perhitungan volume menggunakan UAV merupakan data primer hasil akuisisi data oleh penulis.
3. Data analisis deformasi menggunakan metode DInSAR merupakan data sekunder dari penelitian lain mengenai DInSAR untuk studi kasus kawasan Kota Semarang (Skripsi Islam, L.J. F., 2016).
4. Software yang digunakan untuk pengolahan volume adalah Agisoft Photoscan untuk software utama, adapun untuk software pendukung adalah ArcGis dan Global Mapper.
5. Interval waktu dari data multitemporal untuk foto udara UAV adalah 20 hari yaitu tanggal 25 Maret 2016 dan 16 April 2016.
6. Interval waktu dari data multi temporal untuk DInSAR adalah 48 hari yaitu tanggal 21 Maret 2016 dan 8 Mei 2016.
7. Validasi dalam penelitian ini meliputi tiga hal antara lain : validasi kualitas DEM menggunakan *Cross Section*, validasi geometri horizontal DEM menggunakan metode situasi detail dan validasi visualisasi DEM dibandingkan dengan visualisasi dari foto.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. UAV dan Fotogrametri

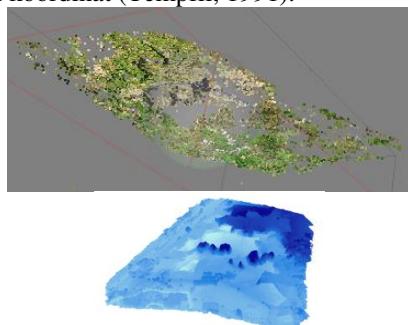
Pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle* / UAV) adalah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh (LAPAN, 2015). Sementara itu, UAV fotogrametri adalah wahana / media / platform dalam fotogrametri, yang beroperasi dengan cara di kendalikan dari jarak jauh, semi-otonom atau otonom, tanpa pilot duduk dalam wahana (Eisenbeiss, 2008 dalam Sukmana, 2010).

Perkumpulan Fotogrametri Amerika mendefinisikan fotogrametri sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi yang terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1983).

II.2 Point Clouds dan DEM

Pointclouds merupakan titik-titik yang memiliki informasi koordinat X, Y, Z sehingga *pointclouds* biasanya digunakan sebagai penyusun konstruksi suatu model tiga dimensi. Data *pointclouds* umumnya dihasilkan dari alat Scanner 3D, alat yang biasa digunakan adalah 3D Laser Scanner. *Pointclouds* yang dihasilkan menggunakan alat tersebut merupakan sebaran titik-titik yang terukur. *Pointclouds* dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti untuk membuat model tiga dimensi.

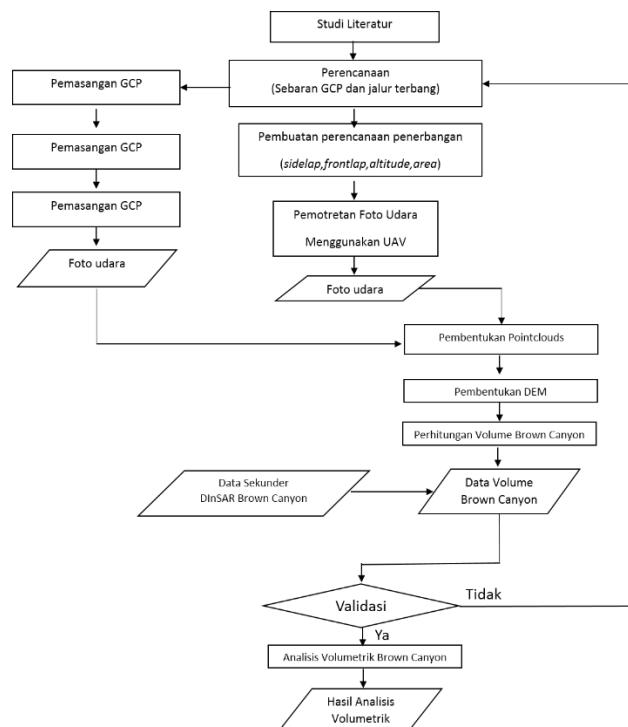
DEM adalah data *digital* yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi atau bagiannya yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil *sampling* dari permukaan dengan algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991).



Gambar II.1 Contoh visualisasi *point clouds* dan DEM

III. Tahapan Pelaksanaan

Sebagai gambaran umum tahapan pengolahan dapat dilihat pada diagram alir pada *Gambar III.1*



Gambar III.1 Diagram alir penelitian

III.1 Akuisisi Data

III.1.1 Akuisisi data foto udara

Pada akuisisi pemotretan udara perlengkapan yang diperlukan dan menyiapkan perencanaan jalur terbang untuk pengambilan data foto udara. Pada penelitian ini digunakan 3 jalur terbang dalam setiap kala akuisisi data.



Gambar III.2 Perencanaan jalur terbang

tahapan akuisisi foto udara di lapangan dimulai dengan mengkalibrasi UAV, kemudian melakukan pengisian perencanaan jalur terbang pada *software Drone Deploy* dengan mengisikan empat parameter pemotretan foto udara diantaranya *overlap*, *sidelap*, *dan altitude*. Total foto yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 2044 foto. Untuk pemotretan kala pertama pada tanggal 25-26 Maret 2016 menghasilkan 1027 foto dari 3 jalur terbang. Untuk pemotretan kala kedua pada tanggal 15-16 April 2016 menghasilkan 1017 foto dari 3 jalur terbang.

III.1.2 Akuisisi data koordinat GCP

Pada pengamatan GPS untuk akuisisi koordinat GCP yang perlu dipersiapkan meliputi perlengkapan untuk survei lapangan. Pada penelitian ini ada 9 GCP dengan pola menyebar di area pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada *Gambar III.3*.



Gambar III.3 Sebaran GCP Brown Canyon

Pada penelitian ini GCP terdiri dari 9 titik yang tersebar di area studi kasus. Pengamatan GPS dibagi dua, yang pertama adalah pengamatan GPS yang dilakukan di lapangan kemudian yang kedua adalah pengamatan GPS CORS UNDIP. Untuk pengamatan di lapangan metode pengamatan yang dilakukan adalah metode pengamatan statik. Kemudian dilakukan pengolahan data GPS menggunakan metode perhitungan radial.

III.1.3 Tahapan pembentukan *point clouds* dan DEM

Pada tahap ini dilakukan konversi foto udara menjadi *sparse pointclouds*. Kemudian dilakukan orthorektifikasi dan *optimizing cameras* untuk membetulkan geometri *sparse point clouds*. Lalu dilakukan proses *dense clouds*. Proses *dense cloud* bertujuan membentuk *pointclouds* padat. Kemudian *point clouds* padat diproses menjadi DEM menggunakan *software Agisoft Photoscan*.

III.1.4 Perhitungan Volume

Pada penelitian ini *software* yang digunakan untuk perhitungan volume adalah Global Mapper. Metode perhitungan volume yang digunakan oleh *software* Global Mapper adalah melakukan eliminasi antara dua DEM sehingga didapatkan data volume, berupa data *fill* dan data *cut*. Dari data *fill* dan *cut* pula yang digunakan sebagai data deformasi dengan fill sebagai *uplift* (kenaikan muka tanah) dan data *cut* sebagai data *land subsidence* (penurunan muka tanah).

Kemudian dilakukan perhitungan volume sesuai dengan klasifikasi yang ditentukan, diantaranya adalah area tebing, area kolam, area vegetasi, area jalan dan area pertambangan.

III.2 Tahapan Verifikasi Perubahan Volume Brown Canyon Terhadap Pengolahan DInSAR

Pada tahapan ini data DInSAR yang digunakan adalah data sekunder merefer pada penelitian Lukman Jundi Fakhri Islam pada tahun 2016 yang berjudul "Analisis Penurunan Muka Tanah Kota Semarang Menggunakan Citra Sentinel-1 Berdasarkan Metode DInSAR Menggunakan Perangkat Lunak SNAP".

III.3 Tahapan Validasi dari kualitas Topografi dan Geometri DEM

1. Validasi DEM menggunakan *Cross Section* dengan Total Station
2. Validasi menggunakan situasi detail dengan Total Station
3. Validasi visualisasi objek DEM dengan visualisasi objek foto

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil dan Analisis Volume Brown Canyon Menggunakan Model 3D UAV

IV.1.1 Hasil dan analisis akuisisi foto udara

IV.1.1.1 Resolusi spasial foto udara

Dari *software* pengolah foto udara Drone Deploy dapat dilakukan *display* foto tegak dengan ketelitian resolusi spasial hingga 5 cm / piksel. *Tabel IV.1* merupakan tabel pengujian resolusi spasial foto udara UAV.

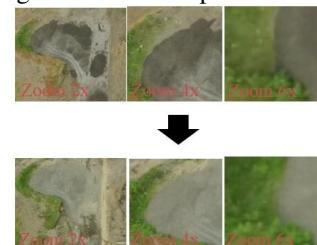
Tabel IV.1 Tabel pengujian resolusi spasial foto udara tegak UAV

No ,	Ukuran pada foto (dalam piksel)	Ukuran pada foto (dalam meter)	Ukuran di lapangan (dalam meter)	Selisih per piksel (dalam mm)	Kuadrat selisih per piksel (dalam mm)
1	255,26	12,763	12,76	0,010	0,00000
2	146,84	7,342	7,340	0,010	0,00000
3	257,26	12,863	12,74	0,480	0,00023
4	61,060	3,053	3,148	-1,560	0,00242
5	24,060	1,203	1,285	-3,410	0,01162
6	34,120	1,706	1,700	0,180	0,00003
7	121,76	6,088	6,080	0,070	0,00000
8	65,240	3,262	3,130	2,020	0,00409
9	25,000	1,250	1,265	-0,600	0,00036
10	13,260	0,663	0,640	1,730	0,00301
TOTAL					0,02176
Rerata selisih					1,47522

Tabel IV.1 menunjukkan bahwa perbandingan antara nilai pengukuran di lapangan dengan ukuran foto udara tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. RMS *error* dari foto udara sebesar 0,00147522 meter terhadap hasil pengukuran di lapangan menggunakan meteran.

IV.1.1.2 Resolusi temporal foto udara

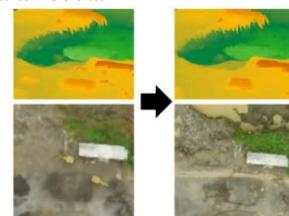
Kemudian dilakukan analisis perbandingan antar kala pengamatan dengan membandingkan foto kala pertama dan kala kedua dari posisi yang sama secara spasial, hal ini untuk menganalisa apakah terdapat perbedaan dari keduanya. Pada *Gambar IV.2* dibagian atas merupakan foto dari kala pertama sedangkan bagian bawah merupakan foto kala



Gambar IV.2 Perbandingan foto udara dari kala pertama (atas) dan kala kedua (bawah)

Dari perbandingan foto di atas dapat kita lihat perbedaan piksel dari kala pertama dan kala kedua. Dari segi warna perbedaan dipengaruhi oleh kondisi dari objek yang diamati.

Selanjutnya foto pada *Gambar IV.5* akan dianalisis dengan dibandingkan dengan DEM hasil bentukan dari foto udara UAV. *Gambar IV.5* merupakan perbandingan tampilan foto dan DEM dari kala pertama ke kala kedua.

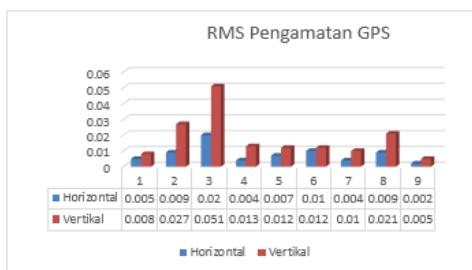


Gambar IV.3 Perbandingan tampilan foto dan DEM dari kala pertama dan kala kedua

Pada *Gambar IV.3* DEM menunjukkan perubahan objek DEM yang sesuai dengan perubahan objek yang terjadi pada foto udara UAV.

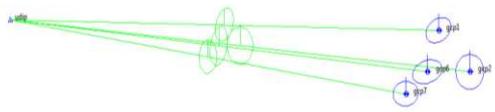
IV.1.2 Hasil dan analisis akuisisi koordinat GCP

Titik-titik GCP dibuat tersebar merata di area Brown Canyon. *Gambar IV.5* merupakan grafik untuk RMS pengamatan GPS tiap GCP.

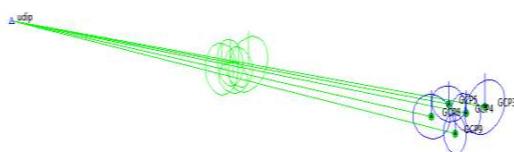


Gambar IV.5 RMS pengamatan GPS tiap GCP

Dari grafik pada *Gambar IV.7* menunjukkan bahwa RMS terbesar terdapat pada GCP GCP 3. Hal tersebut terjadi sebagai akibat dari kondisi obstruksi dari GCP 3 dimana terdapat menara listrik sehingga efeknya adalah gangguan interferensi elektrik pada pengamatan dan adanya gangguan *multipath* karena GCP 3 berada tepat disamping tebing. *Gambar IV.6* dan *Gambar IV.7* merupakan elips kesalahan dari pengamatan GPS.



Gambar IV.6 Elips kesalahan pengamatan GPS tanggal 30



Gambar IV.7 Elips kesalahan pengamatan GPS tanggal 31

Kemudian untuk mendapatkan data koordinat GCP dapat dilihat pada *Reports point*. *Tabel IV.3* merupakan data koordinat GCP.

Tabel IV.3 Hasil akuisisi koordinat GCP

Nama titik	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)
GCP1	9.220.498,009 ± 0,003	443.319,918 ± 0,004	77,102 ± 0,005
GCP2	9.220.123,101 ± 0,006	443.699,495 ± 0,006	70,656 ± 0,009
GCP3	9.219.834,614 ± 0,014	443.930,397 ± 0,014	78,625 ± 0,020
GCP4	9.219.785,717 ± 0,003	443.702,213 ± 0,003	103,939 ± 0,004
GCP5	9.219.863,994 ± 0,004	443.489,644 ± 0,006	64,185 ± 0,007
GCP6	9.220.123,078 ± 0,05	443.184,165 ± 0,09	79,399 ± 0,010
GCP7	9.219.925,856 ± 0,002	442.921,911 ± 0,003	76,275 ± 0,004
GCP8	9.219.750,76 ± 0,008	443.280,026 ± 0,009	81,638 ± 0,011
GCP9	9.219.599,487 ± 0,002	443.565,007 ± 0,001	101,794 ± 0,002
CORS UNDIP	9.220.591,996	438.136,408	255,55

Setelah dilakukan *post processing* dan *adjustment* memenuhi maka didapat koordinat dari titik-titik GCP. CORS UNDIP berada di bagian yang memiliki elevasi tinggi yaitu 255,55 meter, sedangkan titik-titik GCP berada jauh dibawah ketinggian titik CORS UNDIP. Titik GCP tertinggi pada GCP4 dengan elevasi $103,939 \pm 0,004$ meter sedangkan yang paling rendah

ketinggiannya adalah GCP 5 dengan elevasi $64,185 \pm 0,007$ meter. Untuk standar deviasi yang paling teliti ditunjukan pada GCP 7 dengan standard deviasi X, Y dan Z masing-masing 0,002; 0,003 dan 0,004 meter. Sementara standar deviasi yang paling rendah adalah GCP 3 dengan standar deviasi X,Y, dan Z masing-masing 0,014; 0,014 dan 0,020 meter.

IV.1.3 Hasil dan Analisis Volume

IV.1.3.1 Hasil pembentukan Pointclouds

Gambar IV.8 merupakan hasil dari proses *align photos* berupa *pointclouds* yang masih jarang.



Gambar IV.8 Pointclouds hasil dari proses align photos

Fungsi dari *align photos* adalah menegakan foto, sehingga titik-titik yang terbentuk nantinya sudah terkoreksi kesalahannya melalui tahap *align photos* baik itu kesalahan *drift*, *tilt* maupun *crab*. Kemudian jumlah *tie point* yang digunakan pada penelitian ini adalah 10000 titik per foto, karena apabila penentuan *tie point* terlalu banyak akan memakan waktu yang sangat lama.

Dari *sparse cloud* yang telah terbentuk harus dilakukan rektifikasi terhadap foto udara. Untuk GCP 3 dan GCP 5 sengaja tidak digunakan untuk rektifikasi pada tahap ini karena posisinya yang berada dibawah objek kayu dan batu, sehingga menyulitkan untuk dilakukan orthorektifikasi apabila salah melakukan *marking* pada GCP bisa berakibat fatal yaitu kesalahan intepretasi *software* terhadap posisi titik yang benar. Setelah dilakukan rektifikasi dilakukan *optimizing cameras* yang akan otomatis berpengaruh ke posisi sebaran titik-titik dari *sparse cloud*.

Selanjutnya adalah membentuk *pointclouds* padat (*dense clouds*). *Dense cloud* sendiri merupakan *pointclouds* dari *align photos* yang telah dipadatkan sehingga *pointclouds* yang dihasilkan lebih banyak. *Gambar IV.9* merupakan visualisasi dari *dense cloud* yang dihasilkan.



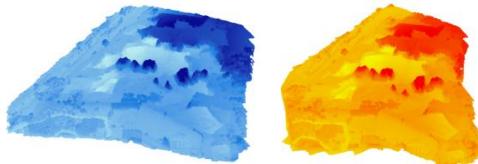
Gambar IV.9 Hasil dari proses dense cloud

Pada *dense cloud* yang dihasilkan dapat dilihat bahwa *pointclouds* memiliki kerapatan yang lebih padat dan dari *dense cloud* lah akan dilakukan pemodelan DEM. Kelebihan dari *software* Agisoft Photoscan adalah mampu melakukan eliminasi terhadap *pointclouds* yang posisinya lari jauh dari posisi yang benar, sehingga dapat dilakukan eliminasi terhadap *pointclouds* yang posisinya salah. Setelah

pointclouds dirapikan, maka proses selanjutnya *dense cloud* dibentuk menjadi DEM.

IV.1.3.2 Pembentukan DEM

Setelah *dense cloud* terbentuk, dari *dense cloud* tersebutlah dibentuk DEM. Data DEM yang terbentuk memiliki ekstensi (.tiff). Gambar IV.10 adalah gambar DEM yang dilihat dari mode tiga dimensi.



Gambar IV.10 Tampilan 3D dari DEM

Hasil DEM yang dibentuk menggunakan Agisoft Photoscan nampak menghasilkan bentukan 3D yang tajam dibuktikan dengan pola-pola yg mampu terdeteksi oleh bentukan DEM seperti vegetasi dan sungai. Kemudian dilakukan pengecekan ketinggian GCP dari DEM yang terbentuk terhadap ketinggian hasil survei GPS. Berikut *Tabel IV.4* merupakan perbandingan keduanya.

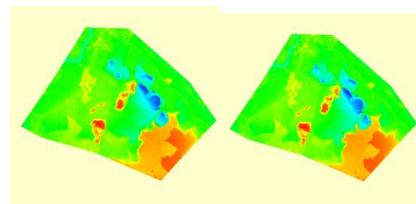
Tabel IV.4 Perbandingan elevasi GCP dari GPS dan DEM

GCP	Elevasi GPS(m)	DEM Kala 1 (m)	
		Elevasi	Selisih (dx) ²
1	77,102	77,148	0,046
2	70,656	70,665	0,009
4	103,939	103,965	0,026
6	79,399	79,486	0,087
7	76,275	76,299	0,024
8	81,638	81,613	-0,025
9	101,794	101,726	-0,068
TOTAL		0,016	
Rerata selisih		0,002	
RMS Error		0,048	

DEM Kala 2 (m)		
Elevasi	Selisih (dx)	(dx) ²
77,251	0,149	0,022
70,737	0,081	0,007
103,968	0,029	0,001
79,472	0,073	0,005
76,262	-0,013	0,000
81,755	0,117	0,014
101,677	-0,117	0,014
TOTAL		0,062
Rerata selisih		0,009
RMS Error		0,094

Dari data di atas terdapat perbedaan yang terjadi berupa kenaikan dan penurunan ketinggian DEM. RMS yang dihasilkan menunjukkan angka 4,8 cm dan 9,4 cm, apabila diuji menggunakan Peraturan kepala Badan Informasi Geospasial (Perka BIG) maka DEM yang dihasilkan baik kala pertama maupun kedua tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal kelas 1 untuk peta skala 1:1.000 .

Selanjutnya sebelum masuk ke tahap perhitungan volume, kedua DEM dipotong sesuai dengan area yang sama. Berikut *Gambar IV.11* adalah hasil dari pemotongan DEM.



Gambar IV.11 Hasil pemotongan DEM kala pertama dan kedua

Prinsip dari pemotongan DEM pada *Gambar IV.14* adalah area pemotongan harus sama. Hal tersebut menyesuaikan dengan metode perhitungan volume yang digunakan, yaitu eliminasi dua *layer* DEM dengan area yang sama.

IV.1.3.3 Perhitungan volume

IV.1.3.3.1 Perhitungan volume secara umum

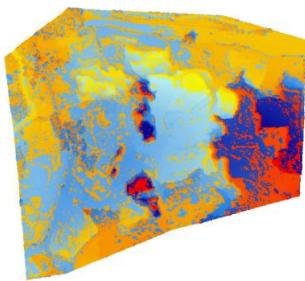
Perhitungan volume secara umum dilakukan dengan menghitung seluruh DEM untuk dihitung nilai perubahan volumenya. Data yang dihasilkan adalah data *cut* dan *fill* yang merupakan selisih dari DEM kala pertama dan kala kedua. Dari data *fill* dan *cut* pula yang digunakan sebagai data deformasi dengan data *fill* sebagai *uplift* (kenaikan muka tanah) dan data *cut* sebagai data *land subsidence* (penurunan muka tanah). *Tabel IV.5* merupakan hasil dari perhitungan volume menggunakan *Global Mapper*.

Tabel IV.5 Hasil perhitungan perubahan volume Brown Canyon menggunakan software *Global Mapper*

Total Volume Between Surfaces:	240.210,3 cubic meters
Cut Volume:	127.140,5 cubic meters
Cut 2D Surface Area:	308.355,833 sq m
Cut 3D Surface Area:	-
Fill Volume:	113.069,8 cubic meters
Fill 2D Surface Area:	267.965,574 sq m
Fill 3D Surface Area:	-

Hasil di atas dihitung dari DEM kala pertama yang dipotong menggunakan DEM kala kedua. *Total volume between surfaces* merupakan volume keseluruhan setelah dijumlahkan antara volume *cut* dan volume *fill*, nilainya adalah 240.210,3. Sedangkan nilai untuk volume *cut*nya adalah 127.140,5 meter kubik pada areal 2D seluas 308.355,833 meter persegi, Untuk volume *fill* 113.069,8 meter kubik pada areal 2D seluas 267.965,574 meter persegi. Dengan demikian untuk mengetahui perubahan volume yang terjadi di Brown canyon dilakukan pengurangan antara *Fill Volume* dan *Cut Volume* dimana hasilnya adalah selama 20 hari Brown Canyon mengalami penurunan volume sebesar 14.070,7 meter kubik.

Gambar IV.12 merupakan visualisasi persebaran perubahan volume yang terjadi di Brown Canyon pada penelitian ini.



Gambar IV.12 *Overlay cut dan fill* dari DEM kala pertama dan kedua

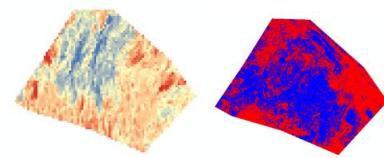
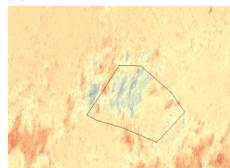
Dari Gambar IV.12 dapat dilihat persebaran perubahan volume dari Brown Canyon selama interval waktu 20 hari. Dari sini dapat diketahui untuk area Brown Canyon sendiri memang mengalami kenaikan dan penurunan. Pada bahasan berikutnya akan dilakukan analisis dengan melakukan klasifikasi per area di kawasan Brown Canyon.

IV.1.3.3.2 Perhitungan volume sesuai klasifikasi

Perhitungan volume dihitung menyesuaikan dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Pengklasifikasian tersebut antara lain adalah analisis volume tebing, analisis volume kolam, analisis kerapatan vegetasi, analisis deformasi jalan, dan analisis volume area pertambangan yang meliputi area pengeringan dan area penumpukan material pertambangan. Analisis dilakukan dengan membandingkan visualisasi dari perubahan volume dari data DEM terhadap kondisi nyata yang ditunjukkan oleh data foto. Pada kelima klasifikasi perubahan volume yang terjadi menurut perhitungan dari DEM secara umum menunjukkan kesesuaian. Namun, untuk objek tebing terjadi error dalam pembentukan DEM dikarenakan pertampalan foto yang kurang yang ditunjukkan pada *report* pengolahan Agisoft Photoscan.

IV.2 Verifikasi hasil pengolahan volume menggunakan DInSAR

Verifikasi hasil pengolahan volume menggunakan DInSAR dilakukan dengan membandingkan perubahan volume yang terjadi di Brown Canyon hasil dari pengamatan foto udara UAV dengan peta deformasi hasil pengolahan DInSAR menggunakan citra Sentinel-1. Gambar IV.15 merupakan perbandingan peta deformasi menggunakan metode DInSAR dan metode pengamatan UAV.



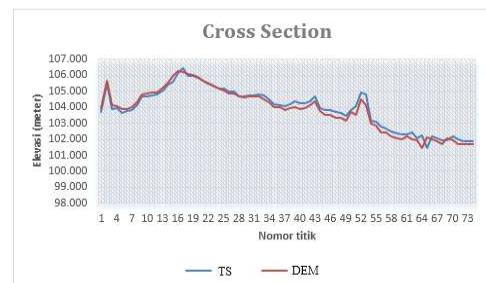
Gambar IV.15 Perbandingan peta deformasi metode DInSAR dan metode pengamatan UAV

Pada perbandingan di atas sebenarnya pola yang terbentuk sudah menunjukkan pola penurunan yang secara umum memiliki kesamaan pola, hanya saja terdapat kesalahan posisi dari peta deformasi DInSAR yang menyebabkan posisi penurunan muka tanah menunjukkan letak yang salah. Dengan demikian maka verifikasi perhitungan volume dengan menggunakan data DInSAR hasilnya menunjukkan kesesuaian, yaitu terjadi penurunan permukaan tanah di kawasan Brown Canyon.

IV.3 Validasi Volume Brown Canyon

IV.3.1 Validasi DEM Brown Canyon menggunakan Cross Section dengan Total Station

Gambar IV.16 merupakan perbandingan grafik statistik *Cross Section* DEM dengan *Cross Section* hasil validasi lapangan.



Gambar IV.15 Perbandingan grafik statistik *Cross Section* DEM dengan *Cross Section* hasil validasi

Pada grafik *Cross Section* di atas menunjukkan bahwa untuk *Cross Section* pada daerah halus memiliki komparasi ketinggian relatif yang sama. Namun untuk daerah kasar menunjukkan ketinggian yang relatif sama pula, namun terdapat interpretasi posisi yang salah, hal tersebut disebabkan oleh pertampalan foto yang tidak sempurna sehingga menimbulkan sedikit kesalahan yang membuat terjadi kesalahan secara sistematis dalam pembentukan permukaan DEM. Penyebab lain adalah karena topografi yang sangat kasar sehingga *software* sulit untuk mendefinisikan koordinat yang sebenarnya dari objek. Namun secara umum DEM telah terbentuk sesuai dengan kondisi di lapangan.

Apabila diuji menggunakan Peraturan kepala Badan Informasi Geospasial (Perka BIG) maka DEM yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal kelas 3 untuk peta skala 1:1.000.

IV.3.2 Validasi menggunakan situasi detail

Metode validasi ini digunakan sebagai alternatif karena tidak adanya ICP sebagai pengujian kualitas geometri dari DEM.

Tabel IV.11 Perbandingan koordinat detail Total Station dengan hasil interpretasi DEM

No. Det ail	Total Station (m)		DEM (m)		Selisih (m)	
	Northing	Easting	Northing	Easting	Northing	Easting
1	9.219.753,429	443.286,3959	9.219.753,499	443.286,386	0,070	-0,010
2	9.219.756,185	443.279,4855	9.219.756,141	443.279,552	-0,044	0,067
3	9.219.768,029	443.284,3539	9.219.767,981	443.284,554	-0,048	0,200
4	9.219.767,532	443.285,2021	9.219.767,692	443.285,308	0,160	0,106
5	9.219.769,131	443.285,875	9.219.769,003	443.286,067	-0,128	0,192
6	9.219.768,457	443.288,4291	9.219.768,444	443.288,021	-0,013	-0,408
7	9.219.769,939	443.289,0562	9.219.769,545	443.289,001	-0,394	-0,055
8	9.219.768,499	443.291,8586	9.219.768,428	443.291,810	-0,071	-0,049
9.	9.219.808,067	443.225,984	9.219.9807,987	443.226,042	-0,080	0,058
10.	9.219.804,643	443.225,837	9.219.804,821	443.225,712	0,178	-0,125
RMS				0,158	0,168	

Dari tabel di atas diketahui bahwa RMS kesalahan dari nilai X dan Y DEM terhadap pengukuran Total Station adalah 0,168m dan 0,158m. Apabila diuji menggunakan Peraturan kepala Badan Informasi Geospasial (Perka BIG) maka DEM yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal kelas 3 untuk peta skala 1:1.000.

IV.3.3 Validasi visualisasi objek DEM terhadap visualisasi foto

Metode validasi menggunakan foto dilakukan dengan sangat sederhana, yaitu dengan membandingkan secara visual objek nyata diambil dari pemotretan foto dilapangan dengan objek yang sama yang terbentuk dalam DEM. Objek yang diuji antara lain adalah jalan, tebing, vegetasi dan banguinan. Untuk pembentukan DEM menunjukkan kesesuaian bentuk dengan foto, namun secara mendetail masih terdapat pembentukan DEM yang kasar seperti objek bangunan. Kemudian objek tebing juga terdapat error karena pertampalan foto udara pembentuk DEM kurang, hal tersebut dapat dilihat dari report pertampalan foto Agisoft Photoscan.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil dari penelitian menunjukkan terjadinya penurunan volume di Brown Canyon menurut analisis DEM yang terbentuk dari foto udara UAV, penurunan volume yang terjadi adalah sebesar 14070,7 meter kubik terhitung selama 20 hari dari tanggal 25 Maret 2016 hingga 15 April 2016. Hasil tersebut sudah meliputi perubahan volume akibat kegiatan tambang dan faktor lain seperti genangan air, deformasi jalan dan pertumbuhan vegetasi.

2. Hasil analisis deformasi di Kawasan Brown Canyon berdasarkan hasil pengolahan volume dari pengamatan UAV dengan dilakukan verifikasi menggunakan metode DInSAR (citra Sentinel-1) menunjukkan pola penurunan permukaan tanah yang sesuai baik dari pengolahan volume dari pengamatan UAV maupun DInSAR. Hal tersebut ditunjukkan dengan kesesuaian pola penurunan muka tanah yang ditunjukkan oleh peta *Cut and Fill* dan peta DInSAR.

3. Hasil validasi kualitas data DEM pembentuk volume Brown Canyon dengan menggunakan metode pengamatan Total Station dibagi menjadi dua.

a. Yang pertama adalah validasi geometri vertikal dari DEM menggunakan metode *Cross Section* dimana didapatkan RMS sebesar 0,269 meter terhadap hasil dari Total Station, kemudian diklasifikasikan lagi bahwa pada area halus RMS adalah 0,193 meter dan untuk area kasar jauh lebih besar nilai RMSnya dengan 0,348 meter terhadap ukuran Total Station. Apabila diuji menggunakan Peraturan kepala Badan Informasi Geospasial (Perka BIG) maka DEM yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal kelas 3 untuk peta skala 1:1.000.

b. Yang kedua adalah validasi geometri horizontal dengan metode pengukuran situasi detail sebagai pengganti ICP. Hasilnya diketahui bahwa RMS kesalahan dari nilai X dan Y DEM terhadap pengukuran Total Station adalah 0,168 m dan 0,158 m. Apabila diuji menggunakan Peraturan kepala Badan Informasi Geospasial (Perka BIG) maka DEM yang dihasilkan memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal kelas 3 untuk peta skala 1:1.000.

V.2 Saran

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan dari awal hingga akhir, berikut saran-saran yang dapat dikemukakan untuk penelitian selanjutnya:

- Sebelum melakukan pengambilan data harus membaca buku panduan dari software.
- Pemotretan foto udara menggunakan UAV untuk dilakukan dari ketinggian yang sama.
- Melakukan pengamatan foto udara UAV pada interval waktu yang lebih lama.
- Penentuan posisi titik GCP untuk mempertimbangkan kondisi obstruksi pengamatan GPS.
- Pengamatan GPS untuk titik GCP untuk dilakukan dalam waktu yang lebih lama dan menggunakan lebih banyak titik GCP.
- Validasi untuk geometri horizontal dan vertikal dalam jumlah objek yang lebih banyak dan menyebarnya.

7. Menggunakan data DInSAR dengan menggunakan citra satelit yg memiliki resolusi spasial lebih tinggi supaya data deformasi yang dihasilkan lebih baik.

Daftar Pustaka

- BAPPEDA Kota Semarang dan BPS Kota Semarang. (2012): *Kecamatan Tembalang dalam Angka Tahun 2011*, BAPPEDA dan BPS: Semarang.
- LAPAN. (2015). *Pustekbang LAPAN Bahas Regulasi Nasional UAV*. <http://www.lapan.go.id/index.php/subblog/read/2015/1848/Pustekbang-LAPAN-Bahas-Regulasi-Nasional-UAV>. Diakses pada tanggal 20 Agustus 2016.
- Purworahardjo, Umaryono U. (1989): *Pengukuran Topografi. Jurusan Teknik Geodesi*, FTSP-ITB: Bandung.
- Sukmana, C.A. (2007): Seri Workshop Oleh Laboratorium Fotogrametri Dan Penginderaan Jauh. Teknik Geodesi UGM
- Tempfli, K. (1991): *DTM and Differential Modeling*, Dalam Suharyadi, R., Sapta, B., Purwanto, T.H., Rosyadi. R.I., Farda, N.M., Wijaya, M.S. (2012): *Petunjuk Praktikum Sistem Informasi Geografis : Pemodelan Spatial*, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada : Yogyakarta.
- Wolf, P. R. (1993): *Elemen Fotogrametri*, Gadjah Mada University Press : Yogyakarta.