

PEMBUATAN MODEL 3D WADUK PENDIDIKAN DIPONEGORO MENGGUNAKAN DATA UAV PADA TAHUN 2019

Jonathan Ardian Hendra Pranoto ^{*)}, LM Sabri, Nurhadi Bashit
Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : ardianhendra99@gmail.com

ABSTRAK

Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun menampung dan mengatur laju air. Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Waduk membutuhkan pemeliharaan dalam menjalankan fungsinya sehingga dapat bekerja secara normal dan dapat memberikan manfaat yang sesuai dengan rencana. Kurangnya perawatan bendungan akan mengakibatkan menurunnya efektifitas bendungan dan dapat membahayakan keamanan bendungan tersebut. Pemantauan bendungan dalam prosesnya diperlukan teknologi yang dapat memetakan kondisi konstruksi bendungan. Pemetaan terestris lapangan terkendala dengan kemiringan lahan, sementara itu pemetaan menggunakan satelit terkendala resolusi data yang rendah, sedangkan pengukuran menggunakan pesawat berawak kurang efektif karena membutuhkan biaya yang cukup besar. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka digunakan teknologi pesawat tanpa awak atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk survei dan pemetaan kondisi waduk. Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro menggunakan data pemotretan udara dari UAV. Misi pemotretan foto udara menggunakan ketinggian 90 m dan 100 m dengan *overlap* foto sebesar 80%. Data tersebut diolah untuk menghasilkan model DTM (*Digital Terrain Model*) dan orthofoto dari bendungan. Hasil uji akurasi ketinggian, Peta hasil pemotretan udara memiliki nilai RMSE sebesar 0,116 m dengan nilai perubahan koordinat vertikal rata-rata sebesar 0,013 m. Hasil analisis Uji akurasi Planimetrik, Peta hasil pemotretan udara memiliki nilai RMSE sebesar 0,231 m dengan nilai perubahan koordinat horizontal rata-rata sebesar 0,060 m. Hasil DTM dan orthofoto yang terbentuk digunakan sebagai data pemantauan untuk pemeliharaan kawasan bendungan.

Kata kunci: Bendungan, Pemodelan Tiga Dimensi, UAV, Waduk Pendidikan Diponegoro

ABSTRACT

Dams are buildings in the form of earth fill, rock fill, concrete, and / or stone pairs that are built to storing and regulate the water rate. Reservoirs are artificial containers formed as a result of the dam being built. The reservoir needs maintenance in carrying out its functions so that it can work normally and can provide benefits in accordance with the plan. Lack of maintenance of the dam will result in decreased effectiveness of the dam and can endanger the safety of the dam. Dam monitoring in the process requires technology that can map the condition of dam construction. Field terrestrial mapping is constrained by land slope, mapping using satellites is constrained by low resolution data, while measurement using manned aircraft is less effective because it requires a large enough cost. Based on these problems, the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) technology is used to survey and map reservoir conditions. This research was conducted in the Diponegoro Educational Reservoir area using aerial photography data from the UAV. The aerial photo shoot mission uses a height of 90 m and 100 m with an overlap of photos by 80%. The data is processed to produce DTM (Digital Terrain Model) and orthophoto models from the dam. Altitude accuracy test results, the map of aerial photography has an RMSE value of 0.116 m with an average vertical coordinate change of 0.013 m. Analysis of Planimetric accuracy test results, Maps of aerial photography have RMSE values of 0.231 m with an average horizontal coordinate change of 0.060 m. The results of DTM and orthophoto formed are used as monitoring data for the maintenance of dam areas.

Keywords: Dam, Three-Dimensional Modelling, UAV, Diponegoro Educational Reservoir

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Menurut Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010, Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan. Bendungan berfungsi untuk penyediaan air baku, penyediaan air irigasi, pengendalian banjir, dan/atau pembangkit listrik tenaga air. Bendungan membutuhkan pemeliharaan dalam menjalankan fungsinya. Operasi dan pemeliharaan bendungan beserta waduknya ditujukan untuk memfungsikan dan merawat bendungan beserta waduknya termasuk memantau perilaku bendungan dan volume waduk agar terjaga keamanan dan fungsinya. Kurangnya perawatan waduk akan mengakibatkan menurunnya efektifitas bendungan dan dapat membahayakan keamanan bendungan tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro. Lokasi ini dipilih karena dirasa cukup mewakili keadaan waduk secara umum. Penelitian penelitian sebelumnya pernah dilakukan dengan obyek penelitian Waduk pendidikan Diponegoro. Penelitian dari Pradipta (2017) melakukan pengukuran bathimetri untuk memperoleh peta topografi perairan waduk. Penelitian dari Isthika (2018) melakukan studi tentang deformasi Waduk dengan menggunakan data GNSS menghasilkan nilai deformasi dari titik-titik sampel di sekitar waduk. Bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro berlokasi di kawasan Tembalang, Semarang. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m³ dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha (PT. Jasapatria Gunatama, 2008). Tahap pertama, pembangunan dimulai awal bulan Maret hingga Desember 2013 dengan dana hibah dari Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air sebesar Rp 42 miliar. Pembangunan waduk ini dimaksudkan untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan lingkungan, serta pengendali banjir di kawasan sekitar kampus Undip Tembalang, waduk juga sebagai laboratorium Fakultas Teknik Sipil, Kimia maupun Lingkungan, Perikanan dan Kelautan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), dan tempat rekreasi.

Pemantauan waduk dalam prosesnya diperlukan teknologi yang dapat memetakan kondisi waduk. Pemetaan terestris lapangan terkendala dengan sulitnya medan, salah satunya akibat kemiringan lahan. Sementara itu pemetaan menggunakan satelit terkendala cuaca dan resolusi data yang rendah, sedangkan pengukuran menggunakan pesawat berawak kurang efektif karena membutuhkan biaya yang cukup besar. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka digunakan teknologi pesawat tanpa awak atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) untuk survei dan pemetaan kondisi bendungan. Metode pengambilan data menggunakan data pemotretan udara dari UAV. Data tersebut

kemudian diolah menjadi model bangunan dan topografi dari bendungan menggunakan aplikasi pengolahan foto udara selanjutnya digunakan sebagai data pemantauan untuk pemeliharaan kawasan bendungan.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan Waduk Pendidikan Diponegoro, mengingat perlunya melakukan usaha pemantauan waduk sehingga waduk tersebut dapat tetap menjalankan fungsinya secara optimal. Penelitian ini diharapkan menambah wawasan mengenai pemanfaatan teknologi penginderaan jauh khususnya UAV dalam memperoleh informasi spasial dan pemetaan kawasan bendungan. Hasil penelitian ini diharapkan juga dapat menjadi masukan kepada pengurus bendungan dan pihak – pihak terkait dalam pengelolaan kawasan bendungan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian adalah:

1. Berapa nilai akurasi ketinggian Model 3D Waduk Pendidikan Diponegoro?
2. Berapa nilai akurasi planimetrik Model 3D Waduk Pendidikan Diponegoro?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai akurasi ketinggian Model 3D Waduk Pendidikan Diponegoro
2. Mengetahui nilai akurasi planimetrik Model 3D Waduk Pendidikan Diponegoro

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Lokasi penelitian ini dilakukan di Kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro, Semarang.
2. Pembentukan model 3D dilakukan dengan menggunakan UAV
3. Tinggi terbang UAV saat pengambilan foto adalah 90 m dan 100m di atas permukaan tanah.
4. Jumlah *Ground Control Point* yang digunakan sebanyak 7 titik dan *Independent Check Point* sebanyak 30 titik.
5. Pengukuran GCP dan ICP dilakukan dengan GNSS *receiver* metode *Real Time Kinematic*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kondisi Umum Wilayah Penelitian

Waduk Pendidikan Diponegoro terletak pada koordinat geografis 7° 3' 9" Lintang Selatan dan 110° 26' 43" Bujur Timur. Waduk Pendidikan Diponegoro termasuk dalam kawasan Universitas diponegoro. Luas dari waduk tersebut kurang lebih 12 ha.

Bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro berlokasi di kawasan Universitas Diponegoro, Tembalang, Kota Semarang. Waduk ini mampu menampung genangan air normal sampai 478.240 m³ dengan luas daerah tangkapan air mencapai 7,1338 Ha dengan panjang sungai 7,52 km, tinggi tubuh bendungan 22 m dan tipe bendungan adalah urugan (batu dan *random*) berinti lempung kedap (PT. Jasapatria Gunatama, 2008). Gambar Waduk Pendidikan Diponegoro dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Waduk Pendidikan Diponegoro (Google Earth, 2019)

Bendungan Waduk Pendidikan Diponegoro dibangun sebagai upaya untuk penyedia air baku di kawasan kampus UNDIP, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLMTH), mengurangi debit banjir pada daerah hilir, dan meningkatkan kapasitas resapan air tanah sebagai usaha konservasi. Waduk Pendidikan Diponegoro juga bisa dimanfaatkan sebagai laboratorium bagi mahasiswa Teknik Sipil, Teknik Lingkungan, Perikanan, dan Kelautan.

II.2 Bendungan

Bendungan adalah konstruksi bangunan yang dibangun untuk menahan laju air sehingga menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi. Menurut Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010 tentang Bendungan, Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Seringkali bendungan juga digunakan untuk mengalirkan air ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Kebanyakan bendungan juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan. Fungsi utama sebuah bendungan adalah untuk menstabilkan atau menciptakan pemerataan aliran air sungai baik dengan cara menampung persediaan air sungai yang berubah sepanjang tahun maupun dengan melepas air tampungan itu secara terprogram melalui saluran air yang dibuat khusus di dalam tubuh bendungan sesuai kebutuhan (Sidharta, 1997).

II.3 Fotogrametri

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi energi elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1993).

Tujuan dari fotogrametri adalah membangun hubungan geometrik antara suatu objek dan sebuah citra dan memberikan informasi tentang objek secara teliti

dan detail. Diperlukan azas fotogrametri yang sangat penting sehingga dapat menginterpretasikan kenampakan medan dengan lokasi yang dapat dihitung.

II.3.1 Fotogrametri Rentang Dekat

Fotogrametri rentang dekat merupakan suatu cabang penting ilmu fotogrametri dengan kamera berada di permukaan bumi yang mempunyai jarak antara kamera dengan objek sampai dengan 300 meter (Wolf, 1993). Penggunaan metode ini sangat membantu proses pengukuran objek karena dapat dilakukan dengan cepat dan menghasilkan ketelitian yang tinggi. Pelaksanaannya harus diperhatikan semua aspek fotogrametri baik dimulai dari besar sudut pengambilan antar titik yang terkait langsung dengan pertampalan antar citra, hingga fokus kamera yang digunakan untuk hasil maksimal (Irawan, 2012). Metode ini sering digunakan untuk berbagai hal, seperti mendokumentasikan bangunan cagar budaya secara tiga dimensi. Apabila terjadi kerusakan pada bangunan cagar budaya tersebut, maka data dari hasil perekaman dengan metode ini dapat membantu penggambaran dari model cagar budaya.

UAV mengalami kemajuan dengan kamera yang semakin tinggi resolusinya dalam perkembangan metode fotogrametri rentang dekat. UAV merupakan salah satu wahana yang dapat digunakan dalam metode fotogrametri rentang dekat dengan dikendalikan jarak jauh oleh pilot. Sensor kamera dapat mengambil gambar atau video yang ada di lapangan. Sensor kamera dapat diubah sesuai dengan kebutuhan tergantung apakah drone tersebut sesuai dengan sensor kamera tersebut karena beberapa wahana UAV tidak dapat mengganti sensor kamera yang diinginkan.

II.3.2 Penentuan Ketelitian Foto Udara

Ketelitian foto udara menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi sebenarnya. Ketelitian foto udara didapat dari kualitas titik GCP dan titik ICP yang diakuisisi di lapangan. Terkait ketelitian geometri menurut Peraturan Kepala BIG No 15 tahun 2014 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketelitian Geometri Peta (BIG, 2014)

No.	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas1		Kelas2		Kelas 3	
			Horizontal / CE90 (m)	Vertikal / LE90 (m)	Horizontal / CE90 (m)	Vertikal / LE90 (m)	Horizontal / CE90 (m)	Vertikal / LE90 (m)
1.	1 : 1.000.000	400	200	200	300	300	500	500
2.	1 : 500.000	200	100	100	150	150	250	250
3.	1 : 250.000	100	50	50	75	75	125	125
4.	1 : 100.000	40	20	20	30	30	50	50
5.	1 : 50.000	20	10	10	15	15	25	25
6.	1 : 25.000	10	5	5	7,5	7,5	12,5	12,5
7.	1 : 10.000	4	2	2	3	3	5	5
8.	1 : 5.000	2	1	1	1,5	1,5	2,5	2,5
9.	1 : 2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1 : 1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5

Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar US NMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) sebagai berikut:

CE90 = 1,5175 x RMSEr.....(1)
 LE90 = 1,6499 x RMSE.....(2)

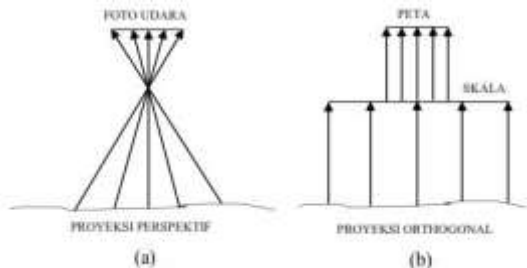
Keterangan :

RMSEr = Horizontal Root Mean Square Error

RMSEz = Vertikal Root Mean Square Error

II.3.3 Orthofoto

Foto yang dihasilkan dari UAV adalah foto udara yang masih mengandung distorsi yang disebabkan sistem proyeksi foto udara yang masih perspektif sehingga foto udara belum bisa dijadikan untuk pengukuran karena tidak mempunyai skala yang seragam. Sedangkan untuk membuat peta yang digunakan adalah orthofoto telah dikoreksi, sehingga distorsinya hilang dan memiliki skala yang seragam. Pada pemrosesan orthofoto, peniadaan pergeseran letak oleh relief (distorsi) dibutuhkan lebih dari satu foto di mana foto tersebut bertampalan satu sama lain. Gambar 2 merupakan visualisasi dari sistem proyeksi perspektif dan orthogonal. Perbandingan gambar sisitem proyeksi perspektif dan orthogonal dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Sistem proyeksi perspektif (a) dan orthogonal (b) (Santoso, B, 2011 dalam Mustofa, H.A, 2016)

II.4 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle adalah pesawat tanpa awak atau pilot. Teknologi UAV adalah teknologi perkembangan kendaraan berbasis Remote Control dan mengembangkan hukum aerodinamika dalam penerbangan UAV. Teknologi ini terdapat berbagai macam jenis wahana yaitu balon udara, layang-layang, quadrotor, fixed wing aircraft dan lain-lain. UAV fotogrametri juga berkaitan dengan penggunaan kaidah fotogrametri dalam melakukan pemrosesan data hasil akuisisi dengan menggunakan wahana UAV.

II.5 Model 3 Dimensi

3D atau 3 dimensi adalah sebuah objek/ ruang yang memiliki panjang, lebar dan tinggi yang memiliki bentuk. 3D tidak hanya digunakan dalam matematika dan fisika saja melainkan dibidang grafis, seni, animasi, komputer dan lain lain. Konsep tiga dimensi menunjukkan sebuah objek atau ruang memiliki geometris yang terdiri dari kedalaman, lebar dan tinggi. Sains modern yang sedang berkembang saat ini adalah menyajikan prinsip sains dalam model 3 dimensi (Permana, 2015).

Pemodelan 3 Dimensi adalah proses pengembangan representasi matematis dari objek 3D. Hasil dari proses pemodelan 3 dimensi disebut model 3D. Terdapat empat jenis fitur topografi dapat yaitu 0D(fitur titik), 1D (fitur garis), 2D (fitur area) dan 3D

(fitur volume) (Peningga,2005). Selain model 2D dan 3D di dalam topografi, terdapat Model 2,5D. sebagai pembeda, model 2.5D untuk setiap pasangan x dan y, hanya ada satu z, sedangkan model 3D, untuk pasangan x dan y yang diberikan, ada lebih dari satu z, objek 2.5D tampak 3D, tetapi bukan 3D yang sebenarnya. Model 2,5D adalah model 2d yang direpresentasikan dalam ruang 3D, Contohnya adalah TIN dan DEM. Dalam topografi konsep 3D penting digunakan dalam mempresentasikan viewshed, watershed, lines of sight, dan groundwater.

II.6 Digital Surface Model (DSM)

DSM adalah model yang menggambarkan elevasi puncak permukaan reflektif, seperti bangunan dan vegetasi (Maune, 2007). DSM menampilkan bentuk permukaan apapun yang ada di tanah, seperti bangunan, pohon dan sebagainya. DTM dan DEM tidak menampilkan objek yang tertangkap oleh citra atau foto udara sehingga menampilkan elevasi tanah yang berada di lapangan.

II.7 Uji Akurasi Ketinggian

Uji akurasi ketinggian merupakan suatu metode dengan membandingkan antara data ketinggian lapangan dengan data ketinggian hasil pengolahan. Metode ini dilakukan untuk mengetahui berapakah kesalahan data hasil pengolahan dengan data yang diambil di lapangan. Rumus RMSE ketinggian dapat dilihat di bawah ini.

$$RMSE \text{ Ketinggian} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{pengukuran})^2}{n}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- h_i = titik tinggi ke-i
- $h_{pengukuran}$ = tinggi pengukuran dengan GPSRTK
- n = jumlah data

II.8 Uji Planimetrik

Uji planimetrik merupakan suatu metode yang menghitung jarak pergeseran data di lapangan dengan data jarak pada hasil pengolahan (BIG, 2014). Ini dilakukan untuk mengetahui berapakah kesalahan titik yang berada di lapangan dengan hasil pengolahan foto udara. Titik-titik tersebut akan dihitung jarak perpindahan sehingga dapat diketahui seberapa besar nilai kesalahan. Rumus RMSE planimetrik dapat dilihat pada rumus 4.

$$RMSE \text{ Planimetrik} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_{pergeseran}}{n}} \dots\dots\dots(4)$$

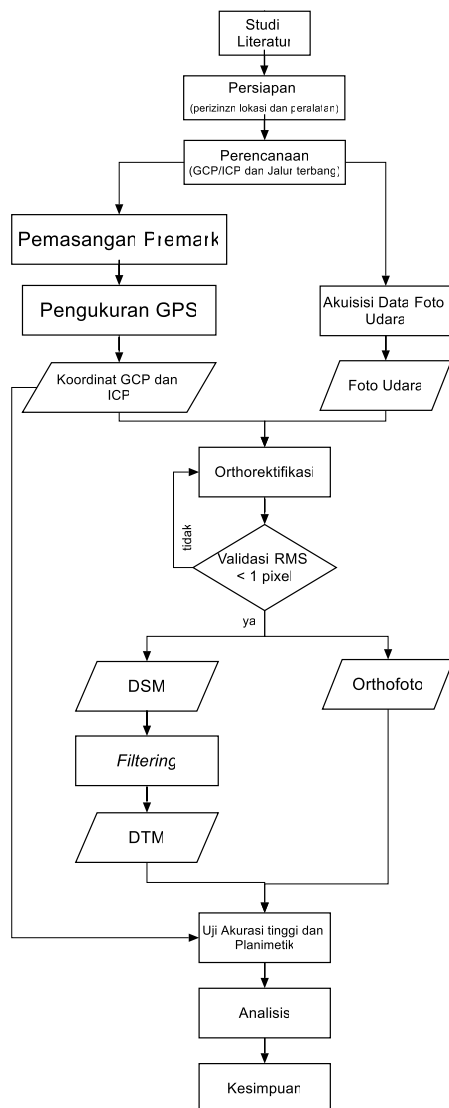
Keterangan :

- $D_{pergeseran}$ = jarak perpindahan titik koordinat
- n = jumlah data

III. Metodologi Penelitian

III.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan proses penelitian dan pengolahan data penelitian diuraikan dalam diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian terbagi dalam beberapa tahapan antara lain:

III.1.1 Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan meliputi: studi literatur, perizinan lokasi penelitian, dan persiapan alat.

III.1.2 Tahapan Perencanaan

Tahapan persiapan meliputi: perencanaan sebaran titik GCP/ICP, perencanaan jalur terbang, dan pemasangan *premark*.

III.1.3 Tahapan Akuisisi Data

Tahapan akuisisi data meliputi pengukuran titik titik GCP/ICP menggunakan GPS metode RTK dan akuisisi data foto udara menggunakan UAV.

III.1.4 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data, data foto udara dan data koordinat GCP/ICP untuk menghasilkan peta orthofoto, DSM dan DTM Waduk Pendidikan Diponegoro.

III.1.5 Tahapan Analisis Hasil

Tahapan analisis hasil pengolahan hasil pengolahan pata GPS titik GCP dan ICP, hasil akuisisi

foto udara, hasil orientasi GCP dan ICP. Analisis *point Cloud*. Hasil pengolahan foto udara, hasil orthofoto, hasil model DSM dan DTM, hasil profil penampang, hasil uji akurasi tinggi, hasil uji akurasi planimetrik, analisis ketelitian geometri peta.

III.2 Alat dan Bahan Penelitian

III.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah:

1. GPS Geodetik Topcon Hiper SR
2. Statif
3. Pita ukur
4. UAV Dji Phantom 4
5. *Smartphone* Xiaomi Redmi Note 5: Snapdragon 636, RAM 3GB
6. Laptop ASUS GL553VE: COREi7, RAM 32GB, NVIDIA 1050Ti

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. DJI Go
2. Ctrl+DJI
3. Pix4D capture
4. Pix4D Mapper
5. Global Mapper
6. ArcGIS 10.3.1
7. Topcon Tools v.8.2.3
8. Topcon Link v.8.2.3
9. Microsoft Office 2016

III.2.2 Data Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data primer foto udara hasil akuisisi april 2019, bersumber pada pemotretan lapangan menggunakan UAV. Data berupa foto udara dengan ukuran 4000 x 3000 piksel tiap foto.
2. Data primer data titik uji GCP dan ICP hasil akuisisi April 2019. Bersumber dari pengukuran lapangan menggunakan metode GPS RTK. Data berupa data koordinat, digunakan untuk proses orthorektifikasi dan pengujian kualitas peta.
3. Data Sekunder data BM UNDIP Tahun 2019, bersumber dari arsip Lab. Pengukuran dan Pemetaan Teknik Geodesi UNDIP. Data digunakan dalam proses akuisisi Data GPS RTK.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Pengolahan Data GPS Titik GCP dan ICP

Titik GCP dan ICP dalam proses pengolahan data foto udara digunakan untuk membentuk foto udara yang sesuai dengan koordinat tanah. Pada penelitian ini digunakan sebanyak 7 titik GCP dan 30 titik ICP yang tersebar di area penelitian dan sekitar penelitian. Data koordinat GCP dan ICP didapat dengan menggunakan alat GPS dengan metode RTK (*Real Time Kinematic*). GPS digunakan sebanyak 2 buah, yaitu 1 *Base* dan 1

Rover. Titik sebaran GCP dan ICP dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Titik-titik sebaran GCP dan ICP

Tabel 2. Hasil Pengukuran GPS

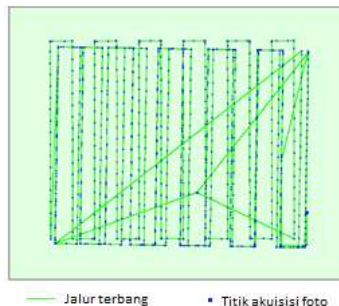
Name	X (m)	Y (m)	Tinggi (m)	H RMS	V RMS
700	438854,929	9220346,574	167,010	0,0100	0,018
701	438731,030	9220253,975	175,241	0,0100	0,020
702	438763,018	9220270,036	174,766	0,0100	0,019
703	438793,096	9220301,184	173,807	0,0100	0,017
704	438841,483	9220296,532	173,081	0,0150	0,025
705	438890,250	9220335,491	169,397	0,0110	0,022
706	438920,338	9220355,129	169,348	0,0100	0,018
707	438766,678	9220352,525	167,340	0,0100	0,018
708	438753,112	9220315,699	167,634	0,0100	0,018
709	438792,247	9220365,811	166,839	0,0100	0,021
710	438804,924	9220353,471	168,782	0,0100	0,019
711	438833,630	9220317,279	169,838	0,0100	0,019
712	438846,857	9220379,665	166,951	0,0090	0,018
713	438840,567	9220397,485	166,856	0,0090	0,017
714	438839,760	9220410,743	166,970	0,0090	0,016
715	438833,523	9220427,794	166,834	0,0090	0,016
716	438831,604	9220445,810	166,901	0,0090	0,016
717	438826,217	9220459,336	166,642	0,0090	0,016
718	438825,650	9220471,292	166,725	0,0090	0,016
719	438819,198	9220489,979	166,276	0,0090	0,018
720	438817,396	9220505,090	166,537	0,0100	0,018
721	438775,761	9220498,826	170,834	0,0100	0,020
722	438688,522	9220482,978	175,200	0,0130	0,022
723	438650,897	9220448,248	175,753	0,0120	0,024
724	438652,603	9220394,571	175,687	0,0150	0,022
725	438641,892	9220360,645	173,845	0,0110	0,019
726	438843,931	9220492,058	161,301	0,0090	0,015
727	438845,824	9220464,089	161,866	0,0090	0,024
728	438885,049	9220486,787	150,545	0,0080	0,016
729	438850,275	9220451,122	161,329	0,0070	0,015
730	438851,321	9220436,011	161,697	0,0070	0,014
731	438855,137	9220417,956	162,154	0,0080	0,015
732	438857,318	9220399,344	161,908	0,0070	0,014
733	438864,509	9220373,760	162,374	0,0070	0,014
734	438905,185	9220425,016	148,355	0,0100	0,014
735	438904,996	9220447,973	148,982	0,0090	0,019
736	438899,814	9220466,008	148,922	0,0090	0,019

IV.2 Hasil Akuisisi Foto Udara

Akuisisi foto dilakukan secara tegak dengan sudut pengambilan gambar 90°. Pada penelitian ini digunakan akuisisi foto total sebanyak 1006 foto udara. Jumlah foto tersebut didapat dari total 4 kali misi terbang, 2 misi dengan ketinggian 100 meter dan 2 misi dengan ketinggian 90 m. Misi terbang berbentuk persegi panjang 396 x 318 m dengan luas daerah 12,6 ha.

Akuisisi foto udara menggunakan beberapa parameter dalam proses akuisisi data, antara lain *overlap*, *altitude*, luas area serta kecepatan *drone*. Metode ini menggunakan overlap sebesar 80%. Saat melakukan pengaturan tinggi terbang *drone*, maka akan muncul angka GSD (*Ground Sampel Distance*). GSD merupakan ukuran piksel dari hasil foto udara. Untuk

misi dengan tinggi terbang 100m memiliki GSD sebesar 2,73 cm/pixel sedangkan misi terbang 90 meter memiliki GSD 2,45 cm/pixel. Hal ini menyebabkan misi terbang dengan ketinggian 90 m memiliki jalur terbang yang lebih rapat. Hasil akuisisi foto udara dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grid Mission Project

IV.3 Hasil Orientasi GCP dan ICP

Hasil pengolahan foto udara memiliki nilai kesalahan kurang dari 1 piksel. Hal tersebut didukung dari pengukuran GPS metode kinematik di daerah yang relatif terbuka memperoleh nilai *horizontal RMS* dan *vertical RMS* baik sehingga dapat menghasilkan kualitas nilai GCP dan ICP. Hasil pengolahan GCP dan ICP dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Report RMSE GCP

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP_701	(3D)	0,020	0,020	0,004	-0,008	-0,009
GCP_706	(3D)	0,020	0,020	0,022	-0,021	0,051
GCP_709	(3D)	0,020	0,020	-0,015	-0,001	-0,001
GCP_716	(3D)	0,020	0,020	-0,005	-0,015	-0,001
GCP_722	(3D)	0,020	0,020	0,018	0,006	-0,001
GCP_725	(3D)	0,020	0,020	0,004	0,009	0,021
GCP_735	(3D)	0,020	0,020	-0,031	0,027	-0,016
Mean[m]		-0,000475	-0,000286	0,006328		
Sigma[m]		0,017256	0,015114	0,021049		
RMSE[m]		0,017262	0,015116	0,021980		

Tabel 4. Report RMSE ICP

GCP Name	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
ICP_700	0,1833	0,0046	0,1544	0,6545	20/20
ICP_702	0,0254	-0,0291	-0,0649	0,3233	17/17
ICP_703	0,0320	-0,0207	-0,0072	0,9488	6/6
ICP_704	0,0150	0,0330	0,0486	0,6468	4/4
ICP_705	0,0351	0,0024	0,1446	0,3806	5/5
ICP_707	0,0407	0,0254	0,0717	0,2207	4/4
ICP_708	0,0303	-0,1067	-0,0264	0,2552	7/7
ICP_710	0,0191	-0,0248	-0,0202	0,3619	6/6
ICP_711	0,0362	-0,0101	0,0447	0,2017	4/4
ICP_712	0,0004	-0,0039	0,1448	0,7737	8/8
ICP_713	0,0253	0,0281	0,0388	0,3705	5/5
ICP_714	0,0088	-0,0010	0,1078	0,3935	7/7
ICP_715	-0,0000	0,0120	0,0317	0,2805	5/5
ICP_717	0,0067	0,0354	-0,0263	0,1505	3/3
ICP_718	-0,0188	0,0027	0,0471	0,3615	6/6
ICP_719	0,0321	0,0072	0,0609	0,1772	12/12
ICP_720	0,0393	-0,0136	-0,0444	0,2017	8/8
ICP_721	-0,0760	-0,0160	-0,0227	0,8017	8/8
ICP_723	-0,0314	-0,0165	0,1123	0,1956	6/6
ICP_724	-0,0132	-0,0315	0,0413	0,3133	6/6
ICP_726	0,0188	-0,0124	-0,0348	0,1951	6/6
ICP_727	0,1649	0,0700	0,1931	0,2846	5/5
ICP_728	-0,0337	-0,0252	0,0336	0,1170	5/5
ICP_729	0,0020	0,0497	-0,0794	0,2735	19/19
ICP_730	0,0409	0,0484	-0,0134	0,1550	8/8
ICP_731	0,0247	0,0145	0,0808	0,3196	6/6
ICP_732	-0,1336	0,0193	-0,0664	0,4987	12/12

Tabel 4. Report RMSE ICP(Lanjutan)

GCP Name	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
ICP_733	0,0004	-0,0404	0,1547	0,4818	8/8
ICP_734	0,0384	0,2075	0,0429	0,1537	5/5
ICP_736	0,0167	0,0994	0,0103	0,1932	6/6
Mean[m]	0,017655	0,010253	0,038606		
Sigma[m]	0,055626	0,052154	0,072192		
RMSE[m]	0,058361	0,053153	0,081866		

IV.4 Hasil Analisis Point Cloud

Hasil pengolahan data foto udara menghasilkan data *point cloud*. *Point cloud* merupakan kumpulan titik yang memiliki koordinat dan membentuk visualisasi 3 dimensi dari keadaan nyata. *Point cloud* dapat dikonversi menjadi *triangle mesh models* atau *polygon mesh models* sehingga dapat merekonstruksi keadaan permukaan yang data terakuisisi. Hasil pengolahan data foto udara secara tegak *point cloud* terbentuk sebanyak 87.849.561 titik. *Point Cloud* pada bagian tengah waduk terdapat bagian dan kosong dan banyak terdapat *point cloud* yang tidak sesuai dengan keadaan aktual sehingga perlu dilakukan proses *filtering* terhadap *point cloud* air agar dapat membentuk *mesh* yang mendekati keadaan aktual. *Point cloud* dan *Mesh* dapat dilihat pada Gambar 6.

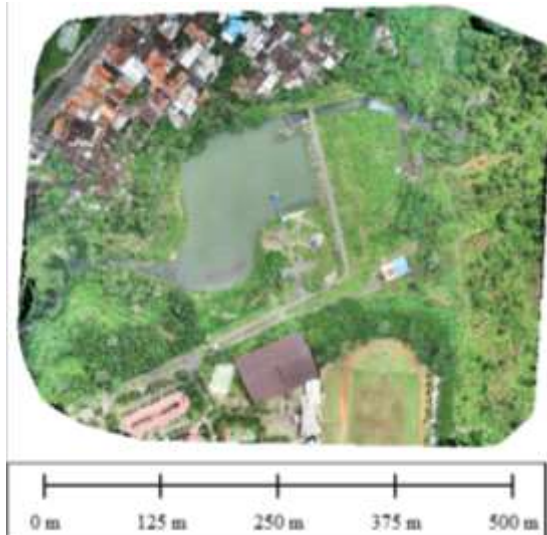


Gambar 6 Point cloud dan 3D Mesh

IV.5 Hasil Pengolahan Foto Udara

IV.5.1 Hasil Orthofoto

Pemotretan dan pengolahan foto udara menghasilkan orthofoto kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro. Misi terbang awal seluas 12,6 ha dapat menghasilkan ortho foto dengan luas 24,394 ha. Orthofoto hasil pengolahan foto UAV dapat dilihat pada Gambar 7.

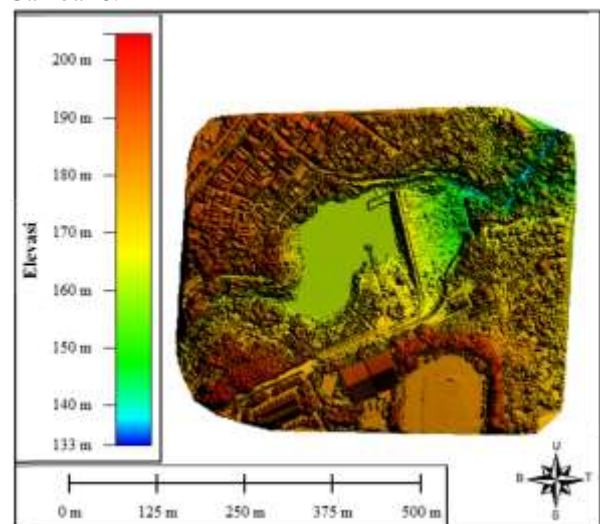


Gambar 7 Orthofoto

Hasil orthofoto kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro tidak sepenuhnya bersih dan jelas. Kualitas orthofoto diuji dengan pengambilan lima sampel area dari beberapa objek dan lokasi. yang berbeda. Pada permukaan air menghasilkan model yang buruk. Hal ini disebabkan kondisi air yang tidak stabil dan terus bergerak berdampak pada kurang presisi proses *image matching* dan pembentukan *point cloud*. Pada area terbuka hasil orthofoto dapat terlihat jelas dan detail karena objek yang datar dan tidak bergerak lebih banyak terdapat *image matching*. Pada area parkir terdapat bayangan kendaraan, hal tersebut terjadi karena perbedaan temporal pada saat akuisisi foto udara. Pada area gedung sudut- sudut gedung dapat terlihat dengan jelas karena sifat bangunan yang tidak bergerak lebih banyak terdapat *image matching* saat pengolahan foto udara. Pada area gedung sudut- sudut gedung dapat terlihat dengan jelas karena sifat bangunan yang tidak bergerak lebih banyak terdapat *image matching* saat pengolahan foto udara. Pada area vegetasi pohon tampak sedikit kabur dampak dari angin dan perubahan temporal saat akuisisi foto mengakibatkan kurang presisinya *point cloud* yang terbentuk dalam proses *image matching*. Pada area pinggir orthofoto terlihat sangat kabur dan terdapat bagian hitam dikarenakan kurangnya data yang diproses akibat kurangnya *overlap* antar foto.

IV.5.2 Hasil Model DSM dan DTM

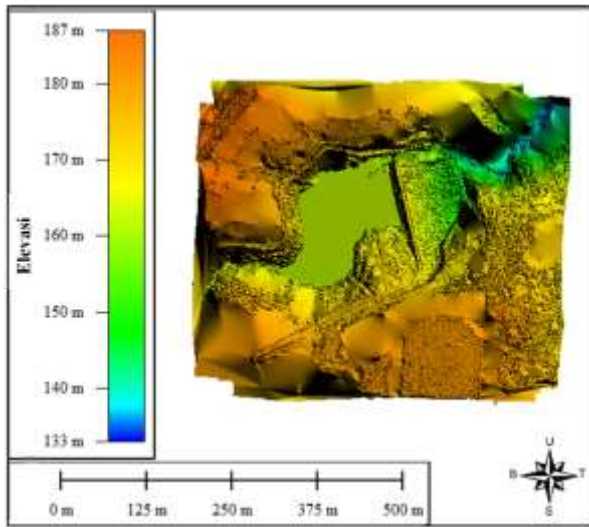
Pemotretan dan pengolahan foto udara menghasilkan DSM kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro. Data model DSM tersebut memiliki elevasi titik terendah sebesar 132,342 m dan elevasi titik tertinggi sebesar 215,508 m. Pada bagian badan air waduk dilakukan penyamaan elevasi muka air yang diambil dari rata- rata ketinggian muka air waduk sebesar 162,732 m. Hasil DSM dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Hasil DSM

DSM Kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro dilakukan pengolahan lebih untuk menghasilkan DTM. Data DTM merupakan data permukaan yang hanya menampilkan data elevasi permukaan tanah. Data model DSM tersebut memiliki elevasi titik terendah sebesar

133,809 m dan elevasi titik tertinggi sebesar 182,922 m. Hasil DTM dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Hasil DTM Waduk Pendidikan Diponegoro

IV.6 Hasil Profil Penampang

Hasil data DSM menunjukkan bentuk permukaan kawasan Waduk Pendidikan Diponegoro. Dari data bentuk permukaan tersebut diambil lima sampel untuk menampilkan profil penampang yang mewakili perubahan elevasi tinggi daerah sekitar Waduk Pendidikan Diponegoro. Terdapat dua profil penampang memanjang jalan dan tiga profil penampang melintang dinding bendungan. Sebaran profil tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 dan profil melintang dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 10 Hasil DSM Waduk Pendidikan Diponegoro

Tabel 6 Hasil Profil Permukaan

NO	Profil Penampang	Keterangan
1		Profil Memanjang Jalan Selatan Kawasan Bendungan
2		Profil Memanjang Jalan Timur Kawasan Bendungan

Tabel 6 Hasil Profil Permukaan(Lanjutan)

NO	Profil Penampang	Keterangan
3		Profil Melintang Timur Bendungan
4		Profil Melintang Timur Bendungan
5		Profil Melintang Timur Bendungan

Profil memanjang jalan selatan kawasan bendungan dari jarak total 154 m, kemudian diambil sampel pada daerah yang relatif linier untuk di uji nilai regresinya. Data yang dipilih menjadi sampel adalah data dari jarak kumulatif 119 m sampai 154 m. Sepanjang jarak tersebut terdapat 332 data titik tinggi. Persamaan regresi linier pada pola profil tersebut adalah $y = -0,1087x + 185,37$. Dari data tersebut diperoleh nilai rata-rata 0,049 m, nilai minimum -0,024 m, dan nilai maksimum 0,218 m. Potongan sampel memanjang jalan selatan kawasan bendungan dapat dilihat pada Gambar 11 dan grafik profilnya pada Gambar 12.



Gambar 11 Sampel Daerah Jalan Selatan Kawasan Bendungan

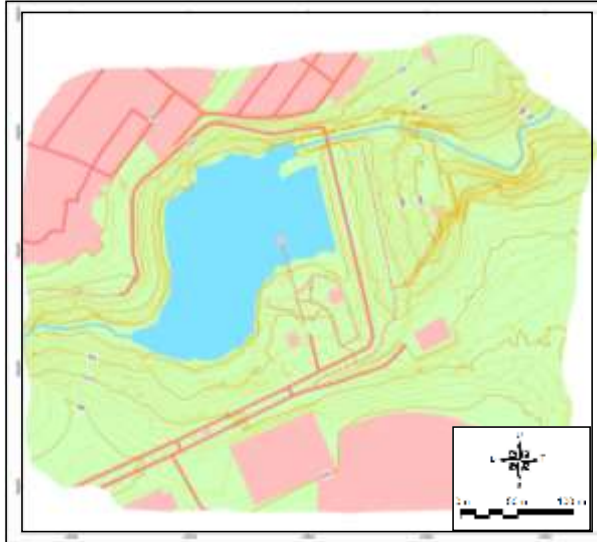


Gambar 12 Profil daerah Jalan Selatan Kawasan Bendungan

IV.6.1 Analisis Tutupan Lahan

Hasil Peta Tutupan Lahan diperoleh dari proses digitasi peta orthofoto, sedangkan kontur yang terbentuk

diperoleh dari pengolahan data DTM. Peta Tutupan Lahan hasil pengolahan tersebut menghasilkan beberapa daerah penggunaan lahan. Daerah vegetasi seluas 11,846 Ha, daerah bangunan 9,520 Ha, dan daerah badan air seluas 1,768 Ha. Hasil Peta tutupan Lahan dapat dilihat pada gambar Gambar 13.



Gambar 13 Peta Tutupan Lahan

IV.7 Hasil Uji Akurasi Tinggi

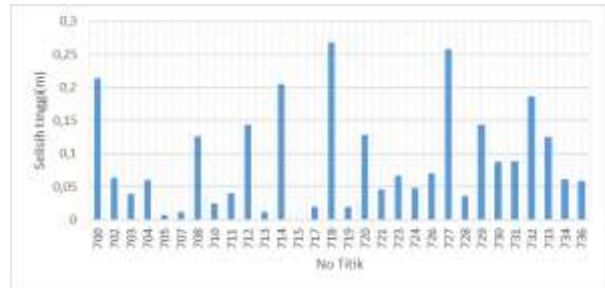
Uji akurasi tinggi dilakukan dengan membandingkan hasil elevasi titik pada orthofoto dengan tinggi hasil pengukuran elevasi menggunakan metode GPS RTK. Pengujian dilakukan pada 30 titik sampel diatas tanah. Rentang selisih ketinggian Orthofoto dengan tinggi aktual titik sampel memiliki nilai selisih tertinggi 0,268 meter dan nilai selisih terendah 0,008 meter. Nilai RMSE yang dihasilkan sebesar 0,191 meter. Hasil ekstraksi tinggi dapat dilihat pada Tabel 7, sedangkan grafik selisihnya dapat dilihat pada Gambar 14.

Tabel 7 Hasil Ekstrak tinggi

No Titik	h_i (m)	$h_{pengukuran}$ (m)	$h_i - h_{pengukuran}$ (m)	$(h_i - h_{pengukuran})^2$ (m ²)
700	166,796	167,010	-0,214	0,046
702	174,830	174,766	0,063	0,004
703	173,847	173,807	0,040	0,002
704	173,141	173,081	0,060	0,004
705	169,405	169,397	0,008	0,000
707	167,340	167,352	-0,012	0,000
708	167,761	167,634	0,126	0,016
710	168,807	168,782	0,025	0,001
711	169,878	169,838	0,040	0,002
712	166,807	166,951	-0,144	0,021
713	166,868	166,856	0,012	0,000
714	166,765	166,970	-0,205	0,042
715	166,834	166,834	0,000	0,000
717	166,623	166,642	-0,019	0,000
718	166,458	166,725	-0,268	0,072
719	166,296	166,276	0,019	0,000
720	166,666	166,537	0,129	0,017
721	170,880	170,834	0,046	0,002
723	175,686	175,753	-0,067	0,004
724	175,639	175,687	-0,048	0,002
726	161,370	161,301	0,070	0,005
727	161,607	161,866	-0,258	0,067
728	150,582	150,545	0,036	0,001
729	161,473	161,329	0,143	0,021
730	161,784	161,697	0,088	0,008
731	162,065	162,154	-0,089	0,008
732	162,095	161,908	0,187	0,035
733	162,249	162,374	-0,125	0,016

Tabel 7 Hasil Ekstrak tinggi (Lanjutan)

No Titik	h_i (m)	$h_{pengukuran}$ (m)	$h_i - h_{pengukuran}$ (m)	$(h_i - h_{pengukuran})^2$ (m ²)
734	148,416	148,355	0,061	0,004
736	148,981	148,922	0,059	0,004
Jumlah				0,401
Rata-Rata				0,013
RMSE				0,115



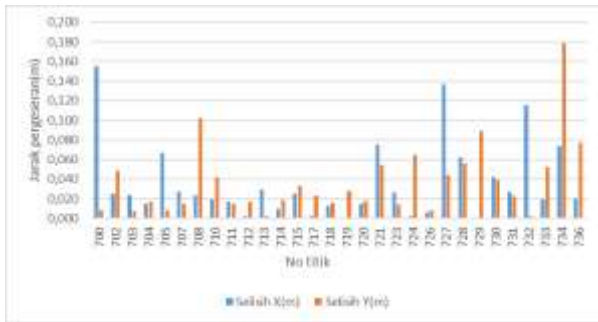
Gambar 14 Profil daerah Jalan Selatan Kawasan Bendungan

IV.8 Hasil Uji Akurasi Planimetrik

Uji akurasi Planimetrik dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil digitasi pada orthofoto dengan koordinat hasil pengukuran lapangan dengan metode GPS RTK. Pengujian dilakukan pada 30 titik sampel diatas tanah. Rentang selisih koordinat Orthofoto dengan koordinat aktual memiliki nilai jarak pergeseran tertinggi 0,193 meter dan nilai selisih terendah 0,010 meter. Nilai RMSE yang dihasilkan sebesar 0,370 meter. Hasil penghitungan jarak pergeseran dapat dilihat pada Tabel 8, sedangkan grafik selisihnya dapat dilihat pada Gambar 14.

Tabel 8 Penghitungan Jarak Pergeseran

No Titik	Selisih (m)		Selisih (m ²)		Jarak Pergeseran (m)
	X	Y	X ²	Y ²	(X ² +Y ²) ^{0,5}
700	0,155	-0,008	0,024	0,000	0,156
702	0,025	-0,049	0,001	0,002	0,055
703	0,024	-0,008	0,001	0,000	0,025
704	0,015	0,017	0,000	0,000	0,023
705	0,067	0,008	0,004	0,000	0,067
707	0,027	-0,015	0,001	0,000	0,031
708	0,024	-0,102	0,001	0,010	0,105
710	0,019	-0,042	0,000	0,002	0,046
711	0,017	-0,015	0,000	0,000	0,023
712	0,003	-0,017	0,000	0,000	0,018
713	0,029	-0,002	0,001	0,000	0,029
714	0,009	-0,019	0,000	0,000	0,021
715	0,025	-0,034	0,001	0,001	0,042
717	0,002	-0,023	0,000	0,001	0,023
718	0,013	-0,016	0,000	0,000	0,02
719	0,001	-0,028	0,000	0,001	0,028
720	-0,015	-0,018	0,000	0,000	0,023
721	-0,075	-0,054	0,006	0,003	0,092
723	-0,027	-0,014	0,001	0,000	0,03
724	0,002	-0,065	0,000	0,004	0,065
726	-0,006	0,008	0,000	0,000	0,010
727	0,137	0,044	0,019	0,002	0,144
728	-0,062	-0,056	0,004	0,003	0,084
729	0,000	0,089	0,000	0,008	0,089
730	0,042	0,039	0,002	0,002	0,058
731	0,027	0,022	0,001	0,000	0,035
732	-0,115	-0,003	0,013	0,000	0,116
733	0,019	-0,052	0,000	0,003	0,056
734	0,073	0,179	0,005	0,032	0,193
736	0,02	0,077	0,000	0,006	0,08
Jumlah					1,787
Rata-Rata					0,06
RMSE					0,231



Gambar 14 Grafik selisih koordinat X dan Y

IV.9 Analisis Ketelitian Geometri Peta

Hasil perhitungan uji akurasi tinggi dan uji planimetrik setiap metode foto udara dihitung ke dalam rumus (1) dan (2). Pengujian ini ditujukan untuk mencari kualitas yang dihasilkan dari foto udara jika dibuat menjadi peta. Hasil perhitungan ketelitian geometri peta secara horisontal (RMSEr) sebesar 0,231 m dan CE90 sebesar 0,370 m. Sesuai dengan Hasil perhitungan tersebut, menunjukkan bahwa kualitas horizontal peta foto udara masuk ke kategori kelas 1 dalam skala 1:2.500 atau kelas 3 dalam skala 1:1.000. Hasil perhitungan ketelitian geometri peta secara vertikal (RMSEz) untuk foto udara sebesar 0,116 m dan LE90 sebesar 0,191 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa kualitas foto udara secara vertikal udara masuk ke kategori kelas 1 dalam skala 1:1.000.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan pada proses yang telah dilakukan antara lain:

1. Berdasarkan hasil analisis Uji akurasi Ketinggian, Peta hasil pemotretan udara memiliki nilai LE90 sebesar 0,191 m dan nilai RMSE sebesar 0,116 m dengan nilai perubahan koordinat vertikal rata-rata sebesar 0,013 m, nilai minimum sebesar 0,001 m dan nilai maksimum sebesar 0,268 m. Sesuai dengan hal tersebut, kualitas peta masuk ke kategori kelas 1 dalam skala 1:1000.
2. Berdasarkan hasil analisis Uji akurasi Planimetrik, Peta hasil pemotretan udara memiliki nilai CE90 sebesar 0,370 m dan nilai RMSE sebesar 0,231 m dengan nilai perubahan koordinat horizontal rata-rata sebesar 0,060 m, nilai minimum sebesar 0,010 m dan nilai maksimum sebesar 0,156 m. Sesuai dengan hal tersebut, kualitas peta masuk ke kategori kelas 3 dalam skala 1:1000.

V.2 Saran

Penulis memiliki beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian sejenis selanjutnya, yaitu:

1. Pemilihan titik GCP, ICP dan titik uji agar tersebar secara merata dan berada pada lokasi yang mudah diidentifikasi.
2. *Premark* yang digunakan sebaiknya tidak berwarna cerah dan tidak memantulkan banyak cahaya, sehingga dapat diinterpretasi dengan lebih mudah.

3. Waktu akuisisi foto udara dilakukan pada pagi atau sore hari dan pada saat cuaca cerah dan tidak berangin sehingga UAV menghasilkan lebih banyak foto yang berkualitas.
4. Dalam pengukuran titik GCP dan ICP dengan GPS dapat digunakan metode statik yang durasi akuisisi data lebih lama sehingga hasil akuisisi koordinat GCP dan ICP lebih baik dan membuat nilai RMSE pada pengolahan foto udara lebih bagus.

DAFTAR PUSTAKA :

Atkinson, K. (1980). *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. London: Whittles Publishing.

Badan Standarisasi Nasional (1989). SNI.03-1731-1989: Pedoman Keamanan Bendungan

BIG. (2014). *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Badan Informasi Geospasial.

Irawan, F. (2012). *Penggunaan Fotogramteri Rentang Dekat Sebagai Alat Bantu Pembuatan AS-Built Drawing*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.

Leitch, K. (2002). *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. Mexico: New Mexico State University.

Maune, D. F. (2007). *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem Users Manual*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Murti, Wikan Isthika ,dkk. 2018. *Studi Deformasi Waduk Pendidikan Diponegoro Tahun 2018*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro.

Mustofa, H. A. (2016). *Analisis Ketelitian Planimetrik Orthofoto pada Topografi Perbukitan dan Datar Berdasarkan Kuantitas Titik Kontrol Tanah*. Semarang: Jurnal Geodesi Undip.

Penninga, F. (2005). *3D Topographic Data Modelling: Why Rigidity Is Preferable to Pragmatism*. Delft University of Technology, OTB, section GIS Technology, Jaffalaan 9, 2628 BX Delft

Peraturan Pemerintah (PP) No. 37 Tahun 2010. Bendungan

Permana, N. (2015). *Implementasi Augmented Reality Pada Aplikasi Promosi Property Agent*. Widyatama Repositor

Pradipta, Rachaditya ,dkk. 2018. *Analisis Ketelitian Humminbird Helix 5 Chirp Si Gps G2 Dengan Menggunakan Usv (Unmanned Surface Vehicle) (Studi Kasus: Waduk Pendidikan Diponegoro, Semarang)*. Tugas Akhir. Fakultas Teknik, Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro. Semarang.

PT. Jasapatria Gunatama. (2008). *Studi dan Detail Desain Waduk Diponegoro*. Presentasi Konsep Laporan Akhir.

Sidharta, S. K. 1997. *Irigasi dan Bangunan Air*. Gunadarma, Depok.

Wolf, P. R. (1993). *Elemen Fotogrametri*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.