

KALIBRASI VOLUME PENAMPUNGAN AIR MENGGUNAKAN KAMERA DSLR

CANON 600D

Lalu Ubai Abdillah¹⁾ M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc, Ph.D²⁾ Silvester Sari Sai, ST.,

MT³⁾

¹⁾ Mahasiswa Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

²⁾ Dosen Pembimbing I Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

³⁾ Dosen Pembimbing II Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

ABSTRAK

Fotogrametri Jarak dekat adalah salah satu aplikasi dari ilmu Fotogrametri yang digunakan untuk mengukur obyek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. Metode ini menggunakan lebih dari satu sensor untuk merekam obyek. Fotogrametri jarak dekat juga sering digunakan untuk pemodelan tiga dimensi dan alternatif untuk menentukan volume.

Pada penelitian Tugas akhir ini, metode fotogrametri jarak dekat dengan menggunakan kamera non metrik digunakan untuk mengetahui nilai volume air yang berada didalam obyek penampungan air, volume yang dihasilkan adalah selisih dari dua *surface* atau keadaan penampungan air yang diisi volume air yang berbeda (*epoch*). Dengan cara meletakkan titik target diatas permukaan air kemudian dipotret dan setelah diolah menggunakan *software Photomodeler Scanner* maka akan didapatkan data *surface* atau koordinat permukaan air, berdasarkan dari data *surface* inilah akan dihitung nilai volume air yang berada pada obyek penampungan. Volume yang dimasukkan ke dalam penampungan air diukur menggunakan alat takaran liter air sehingga nilai volume berdasarkan alat ini dianggap nilai yang paling benar untuk dibandingkan dengan hasil penentuan volume air menggunakan fotogrametri jarak dekat.

Hasil koordinat tiga dimensi tiap epoch yang telah didapatkan dari proses pengolahan menggunakan *software Photomodeler Scanner* kemudian di *import* ke *Software surpac vision* untuk ditentukan nilai volumenya. Penentuan volume air pada *software surpac vision* menggunakan konsep metode *cut and fill*, prinsip penentuan volume metode *cut and fill* ini adalah menggunakan rumus prisma, rumus prisma ini adalah pengembangan dari dua penampang (*end area*), Volume dihitung berdasarkan DTM yang dibentuk dari jaring – jaring segitiga (TIN). Jaring segitiga inilah yang akan membentuk suatu geometri prisma dari dua *surface*.

Keynote : Fotogrametri Jarak Dekat, Volume air, *Epoch*, *Software Photomodeler Scanner*, *Software Surpac Vision*

PENDAHULUAN

Metode fotogrametri pada awalnya hanya digunakan untuk pemetaan topografi. Namun dengan seiring perkembangan teknologi dengan pesat, teknologi yang digunakan pada metode fotogrametri pun juga mengalami perkembangan. Dimulai dari perubahan sistem analog ke sistem digital, sampai dengan penggunaan metode fotogrametri untuk obyek non-topografi (Tardan, 2010). Dalam perkembangan ilmu fotogrametri dikenal juga metode fotogrametri jarak dekat (*Close Range Photogrametry*) adalah metode fotogrametri yang digunakan untuk mengukur obyek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. Metode ini menggunakan lebih dari satu sensor untuk merekam obyek (Atkinson, 1980).

Selama ini metode yang paling sering digunakan dalam perhitungan volume adalah dengan melakukan pengukuran secara terestris. Baik itu menggunakan alat Total station maupun dengan alat GPS tipe geodetik. Namun seiring dengan perkembangan teknologi fotogrametri khususnya fotogrametri jarak dekat telah banyak dilakukan berbagai penelitian yang terkait penentuan volume suatu obyek menggunakan kamera non metrik, dengan alasan waktu yang digunakan relatif singkat dan juga biaya yang akan dikeluarkan lebih murah maka tentunya metode ini akan sangat diperlukan dalam penentuan volume suatu obyek di masa depan.

Untuk itu maka harus banyak dilakukan penelitian sebagai informasi yang berguna bagi masyarakat khususnya surveyor dalam menerapkan metode fotogrametri jarak dekat dan juga masih harus banyak dilakukan *research* tentang kelayakan pengukuran menggunakan kamera non metrik atau DSLR (*digital single lens reflector*) dalam menentukan suatu volume atupun mengukur tiga dimensi obyek, seberapa ketelitian dan akurasi yang dihasilkan dengan menggunakan metode ini dibandingkan dengan hasil yang sebenarnya pada obyek.

Pada penelitian ini, obyek yang akan diukur adalah volume air yang berada di dalam penampungan air, alasan mengapa volume air adalah karena air lebih padat dibandingkan dengan obyek lainya seperti pasir atau batu kerikil yang sebelumnya pernah dilakukan penelitian untuk menentukan volumenya menggunakan kamera DSLR. Sehingga hasil dari pengukuran metode ini diharapkan adalah hasil yang baik untuk dibandingkan dengan nilai yang dianggap paling benar.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka permasalahan yang timbul dalam pekerjaan penelitian ini adalah :

1. Teknik penentuan volume air metode fotogrametri jarak dekat menggunakan kamera non metrik.
2. Penentuan selisih volume air yang didapatkan dari pengukuran kamera DSLR dengan volume sebenarnya menggunakan metode fotogrametri jarak dekat.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tujuan yang diharapkan dapat menjadikan solusi alternatif dalam perhitungan volume. Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menerapkan metode fotogrametri jarak dekat dalam menentukan volume.
2. Mengetahui perbedaan hasil volume air yang didapat dari pengukuran menggunakan kamera DSLR dengan volume air yang sebenarnya diukur secara manual pada tempat penampungan air.

DASAR TEORI

Fotogrametri Jarak Dekat (*Close Range*)

Arti dari Fotogrametri dapat disimpulkan dari kata-kata penyusunnya yaitu *Photo* yang artinya cahaya, *Gram* yang berarti sesuatu yang dilukiskan atau digambarkan, *Metry* yang artinya mengukur (Thompson, 1980 dalam Faridh, 2013). Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan disekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan/pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik (Keifer, 1993 dalam Faridh, 2013). Sedangkan fotogrametri terestrial merupakan suatu cabang penting ilmu fotogrametri yang mempelajari foto yang dibuat dengan kamera yang terletak pada permukaan bumi. Istilah foto jarak dekat pada umumnya digunakan untuk foto terestrial dan teknik yang digunakan dengan objek yang akan diukur jaraknya kurang dari 100 meter dari kamera dengan pemotretan menggunakan kamera non

metrik (Atkinson, 1996). Istilah fotogrametri jarak dekat pada umumnya digunakan untuk foto terestrial. Karakteristik lain dari teknik fotogrametri jarak dekat yang membedakannya dengan *aerial mapping* adalah dalam pengambilan gambarnya dilakukan dari sekeliling obyek dan terkadang juga diambil dari dalam obyek tersebut.

Sistem Koordinat dalam Fotogrametri

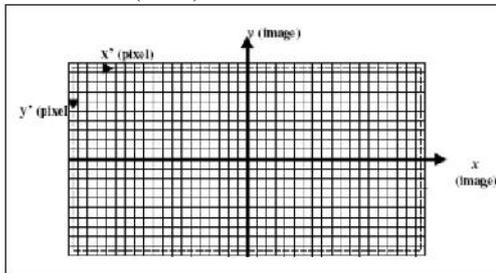
Pada ilmu fotogrametri dikenal beberapa sistem koordinat yang berhubungan dengan foto udara, yaitu: sistem koordinat foto, sistem koordinat *pixel*, sistem koordinat kamera, dan sistem koordinat objek.

a. Sistem Koordinat Foto.

Sistem koordinat foto adalah sistem koordinat dua dimensi sebuah foto dimana pada kamera non metrik maupun kamera metrik dimulai dari *pixel* tengah. Sumbu x positif ke arah kanan dan sumbu y positif ke arah atas.

b. Sistem Koordinat *Pixel*.

Sistem koordinat *pixel* adalah sistem koordinat sebagai referensi titik terkecil pada sebuah foto, yang biasanya dinyatakan dalam satuan mm. Dimana pada kamera non metrik dimulai dari *pixel* kiri atas, sumbu x positif ke arah kanan (kolom), dan sumbu y negatif ke arah bawah (baris).



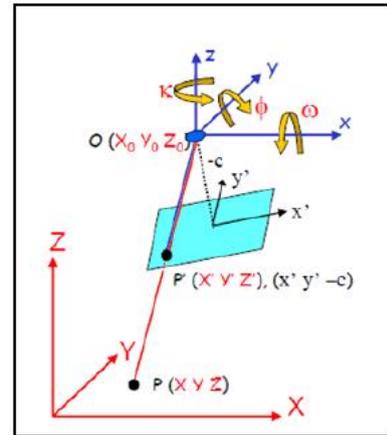
Gambar 1 Sistem koordinat foto

c. Sistem Koordinat Kamera

Sistem koordinat kamera merupakan sistem koordinat 3D pada sebuah kamera dengan titik pusat berada pada *perspective center*. Sumbu xy positif koordinat ini, sejajar dan paralel dengan sumbu xy sistem koordinat objek

d. Sistem Koordinat Objek

Sistem koordinat objek merupakan sistem koordinat 3D yang digunakan sebagai representasi bentuk dan ukuran objek melalui transformasi dari sistem koordinat foto ke sistem koordinat objek.



Gambar 2: Sistem koordinat kamera dan sistem koordinat obyek,

Kamera Digital

Kamera digital adalah alat untuk membuat gambar dari obyek untuk selanjutnya dibiaskan melalui lensa kepada sensor CCD (ada juga yang menggunakan sensor CMOS) yang hasilnya kemudian direkam dalam format digital ke dalam media simpan digital. Karena hasilnya disimpan secara digital maka hasil rekam gambar ini harus diolah menggunakan pengolahan digital pula semacam komputer atau mesin cetak yang dapat membaca media simpan digital tersebut.

Komponen dalam kamera digital :

- a. Sensor Kamera. Sensor kamera adalah sensor penangkap gambar yang dikenal juga sebagai CCD (*Charged Coupled Device*) dan CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*). Sensor ini berbentuk chip yang terletak tepat di belakang lensa. CCD dan CMOS memiliki kriteria tersendiri dan beberapa perbedaan pada sejumlah aspek diantaranya bentuk sinyal keluaran, kepekaan terhadap cahaya, *noise*, kompleksitas sistem dan sensor, tingkat konsumsi energi, dan lain sebagainya. Dari ukuran sensor dan ukuran citra hasil pemotretan dapat dicari ukuran satu piksel. Panjang satu piksel arah horizontal dicari dengan membagi ukuran sensor arah horizontal dan dengan ukuran foto arah horizontal, begitu pula untuk mencari panjang piksel arah vertikal. Rumus skala foto adalah sebagai berikut :

$$\text{Skala foto} = 1: H/f$$

Dimana f merupakan fokus dari kamera saat pemotretan dan H merupakan jarak stasiun pemotretan dengan obyek. Dari skala foto dan ukuran satu maka dapat diketahui besarnya resolusi spasial

dengan rumus :
Resolusi Spatial = Ukuran Piksel/Skala
Foto

- b. Layar LCD. Layar LCD (*LCD display*) adalah layar kecil pada kameradigital yang bermanfaat untuk melihat seperti apa bidikan yang ditangkap oleh sensor CCD. Hasil yang ditunjukkan pada layar LCD lebih akurat dibandingkan hasil yang diperkirakan dalam kamera konvensional yang sering berbeda.
- c. Media Penyimpanan. Salah satu komponen yang sangat berperan adalah media penyimpanan. Media ini dapat berupa *compact flash*, *memory stick*, dan sebagainya. Pada umumnya media penyimpanan memiliki kapasitas penyimpanan gambar dalam jumlah besar sesuai dengan kapasitas memori yang dimiliki. Kapasitas gambar pada setiap media juga ditentukan dengan kapasitas resolusi dari masing-masing gambar yang dihasilkan. Semakin tinggi resolusi CCD, semakin besar ukuran ruang untuk menyimpan berkas yang dibutuhkan dalam media penyimpan.

Kalibrasi Kamera Digital

Pada dasarnya kamera digital memang tidak difungsikan untuk keperluan fotogrametri dan juga pada umumnya belum terkalibrasi. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi adalah kegiatan untuk memastikan hubungan antara harga-harga yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur dengan harga yang sebenarnya dari besaran yang diukur. Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter distorsi, meliputi distorsi radial dan distorsi tangensial (*decentering*), serta parameter-parameter lensa lainnya, termasuk juga *principal distance* (c), serta titik pusat fidusial foto. Pada Software Australis, model kalibrasi terdiri dari element interior orientasi (x_0 , y_0 , c), koefisien distorsi lensa (K_1 , K_2 , K_3 , P_1 and P_2) serta koefisien untuk perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y (b_1 , b_2). Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya.

Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu (Stensaas, 2007 dalam Ikawati, 2012) :

1. *Laboratory calibration*

Merupakan kalibrasi yang dilakukan di laboratorium dan

terpisah dengan pemotretan obyek. Metode ini cocok digunakan untuk kalibrasi kamera metrik. Metode ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu *optical laboratory calibration* dan *test range calibration*.

2. *In field calibration*

Metode kalibrasi *in field calibration* menggunakan target dan parameter kalibrasi kamera dihitung menggunakan prinsip *bundle adjustment*, *plumb line*, atau *Direct Linear Transform* (DLT).

3. *Self calibration*

Kalibrasi pada saat pemotretan dikenal dengan *self calibration*, yakni mengkalibrasi kamera sekaligus pada obyek amat dan data diambil bersamaan dengan data observasi. Pada *self calibration* pengukuran titik-titik target pada obyek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik obyek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera.

Parameter kalibrasi kamera memegang peranan penting kunci untuk mendapatkan tingkat keakuratan yang tinggi untuk titik-titik koordinat obyek yang terekam / diukur melalui foto digital. Indikasi ketelitian adalah jarak dan bentuk yang benar antara hasil pengukuran di foto dibanding dengan data lapangan. Dengan demikian parameter kalibrasi beserta ketelitiannya yang harus didapatkan (Fraser, 1998) antara lain.

Target

Selama pengambilan gambar, permukaan benda harus diberi tanda (target) pada daerah-daerah yang dianggap dapat mewakili bentuk dari permukaan tersebut. Dengan memperhatikan jumlah foto, jumlah titik sekutu ini juga dapat berjumlah sangat banyak. Oleh karena itu, digunakan sebuah objek dengan pola yang telah dibuat sedemikian rupa yang diberi nama *coded target*. Terdapat 2 jenis target yang umum digunakan saat pengambilan data (Hattori, Akimoto, Fraser, & Imoto, 2002 dalam Danurwendi, 2012), yaitu :

1. Target tanpa kode

Disebut target tanpa kode karena perangkat lunak Photomodeler Scanner tidak dapat mengidentifikasi titik tersebut sehingga identifikasi dilakukan secara manual. Target jenis ini hanya berbentuk bulat seperti ditunjukkan pada gambar di bawah:

2. Target berkode

Disebut target berkode karena perangkat lunak Photomodeler Scanner dapat mengidentifikasinya secara otomatis. Terdapat beberapa jenis target berkode

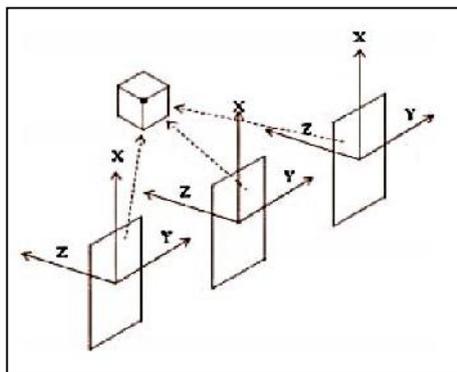
berdasarkan jumlah bitnya. Pada Photomodeler digunakan *coded target* dengan bentuk lingkaran konsentris.

Pemodelan Tiga Dimensi

Dalam pembentukan model tiga dimensi dalam fotogrametri rentang dekat, terdapat dua macam metode yang dapat dilakukan, yaitu *dense point cloud* dan *sparse point* (Murtiyoso, 2011 dalam Danurwendi, 2012). Pemilihan model yang terbentuk tergantung dari kebutuhan dan ketelitian yang diinginkan.

Dense Point Cloud

Pemodelan dengan metode *dense point cloud* merupakan salah satu metode yang paling cocok untuk memodelkan objek bertekstur. Metode ini termasuk metode semi-otomatis karena proses pembentukan *point cloud* dapat dilakukan dalam perangkat lunak *Photomodeler Scanner* secara otomatis dengan melakukan sedikit pengaturan setelah semua foto yang diperlukan melalui proses perataan berkas terlebih dahulu. Dengan kemampuan menghasilkan *point cloud* yang sangat kecil akan dihasilkan model *dense* yang sangat akurat sesuai dengan keadaan sebenarnya. Proses pengambilan foto dengan metode ini dilakukan secara stereo dan diusahakan memiliki daerah pertampalan yang besar karena kualitas *point cloud* yang dihasilkan sangat bergantung dari proses pencocokan citra (*image matching*) daerah yang bertampalan tersebut.

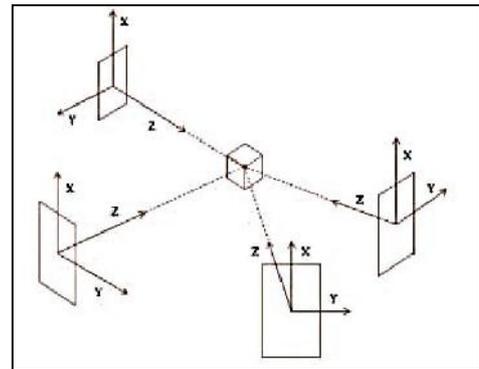


Gambar 3: Pengambilan data secara stereo, Atinkson (1996)

Pada penelitian ini, untuk membentuk model tiga dimensi digunakan metode *Sparse point*. Metode ini merupakan suatu pemodelan yang sederhana dimana tidak diperlukan proses *image matching* seperti pada metode *dense point cloud*.

Pengolahan data dilakukan dengan melakukan *marking* (penandaan) di setiap titik atau fitur yang akan dimodelkan. Minimal enam titik harus dapat teridentifikasi di setiap pertampalan antar foto agar proses dapat berjalan di perangkat lunak *Photomodeler Scanner*.

Pengambilan gambar objek bangun ruang yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengambilan foto secara konvergen yaitu pengambilan gambar ke arah titik pusat objek yang diinginkan dengan sudut antara setiap posisi kamera diusahakan antara 60-90 derajat. Pengolahan dengan metode ini relatif lebih lama karena diharuskan melakukan *marking* disetiap titik yang akan dimodelkan.



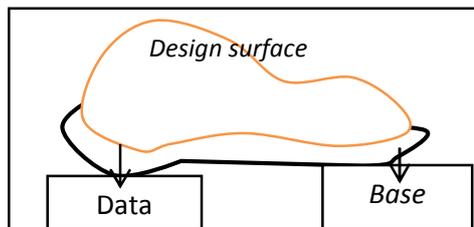
Gambar 4: *Multistation convergent geometry*, Atinkson (1996)

Perhitungan Volume Pada Software Surpac

Surpac adalah software yang sudah dikenal di dunia pertambangan tidak hanya untuk *engineer* tapi juga dapat digunakan untuk *geology*, *surveying*, dan juga untuk IT dan *finance*. Surpac itu mudah di gunakan dan fleksibel dalam penggunaannya untuk beberapa bidang pekerjaan untuk *geology*, *surveying* dan *engineering*. Data yang diberikan berupa data dalam *mining* dan juga eksplorasi. Surpac dapat mengolah data, membuat model cadangan dan estimasi, perhitungan *volume* dan *system grade control* (Wordpress, 2009). Untuk dapat melakukan penghitungan volume dengan Surpac diperlukan data dua buah *surface*, dimana *surface* pertama sebagai *terrain* dan *surface* kedua sebagai alas. *Surface* alas merupakan sebuah *surface* yang didapatkan dari pengukuran topografi original. Selain itu diperlukan juga *boundary* (batas) area yang akan dihitung volumenya.

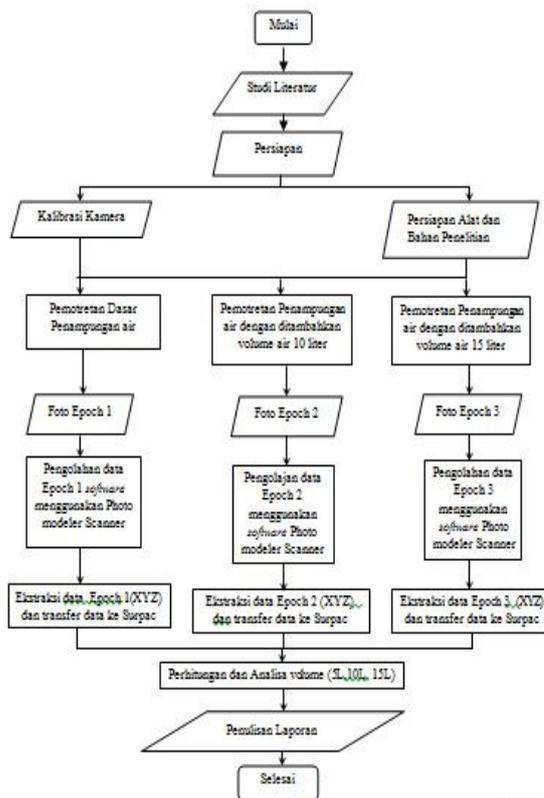
Metode penghitungan volume dalam *Surpac* menggunakan metode *cut and fill*. Dengan metode ini yang dihitung adalah besar volume galian dan timbunan. Prinsip penghitungan volume dengan metode ini adalah rumus prisma. Rumus ini merupakan pengembangan dari rumus dua tampang (*end*

area). Volume dihitung dari DTM yang dibentuk dari jaring – jaring segitiga (TIN). Jaringan segitiga inilah yang akan membentuk suatu geometri prisma dari dua *surface*. *Surface* dibedakan menjadi dua yaitu *design surface* dan *base surface*. *Design surface* merupakan *surface* yang akan dihitung volumenya sedangkan *base surface* merupakan *surface* yang dijadikan sebagai alas (Geodis-Ale,2012. Contoh gambar :



Gambar 5 : Konsep perhitungan *cut and fill* pada software Surpac

METODE PENELITIAN



Gambar 6: diagram Alir Penelitian

Studi literatur

Merupakan tahap awal dari penelitian ini yaitu mencari penelitian-penelitian yang terkait hubungannya dengan penelitian ini sebagai informasi yang sangat berguna yang akan dijadikan referensi dalam penelitian ini.

Persiapan

Persiapan meliputi alat dan bahan yang digunakan yaitu :

- 1) Persiapan pada obyek penampungan air yaitu pemasangan titik target mengelilingi sisi-sisi obyek hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data *boundary* obyek dan pemberian tanda seperti nomor pada sisi-sisi obyek hal ini bermaksud untuk memudahkan dalam proses *marking* dan *referencing* dimana titik yang akan ditandai akan lebih mudah dikenali.
- 2) Pembuatan titik retro yang akan dipakai untuk mengukur volume air di dalam penampungan air, target dilapisi dengan *stereofom* atau gabus supaya dapat mengapung pada permukaan air seperti gambar berikut :

Kalibrasi Kamera

Pada proses kalibrasi kamera terdapat dua tahapan yang dikerjakan yaitu :

1. Pemotretan *Pattern Grid*

Kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *in field calibration* dengan menggunakan target cetakan *calibration grid* berupa titik-titik target dengan empat buah titik kontrol, empat buah titik kontrol tersebut dinamakan *auto coded target* yaitu software Photomodeler akan mengenali target tersebut secara otomatis untuk melakukan proses *marking* dan *referencing*.

Cetak *Pattern Grid Kalibrasi* yang terdapat pada folder instalasi dari Photomodeler dalam format PDF dengan ukuran A4. Setelah itu melakukan pemotretan terhadap *pattern* dari berbagai sisi hingga mengitari obyek. obyek difoto dari empat arah dan setiap arah pemotretan akan diambil gambar dengan cara potret dan landscape. Usahakan *zooming* dan fokus tidak pernah berubah setiap melakukan pemotretan *Pattern grid*. Karena jika fokus berubah maka hasil parameter-parameter kalibrasi yang akan didapatkan dalam proses *automatic calibration* akan kurang baik. Syarat untuk mendapatkan parameter-parameter kalibrasi pada software Photomodeler Scanner yaitu foto dari hasil pemotretan *pattern grid* harus berjumlah minimal 8 hingga 12 buah foto.

2. *Camera Calibration project*

Selanjutnya buka software Photomodeler Scanner lakukan *camera calibration project* dengan memasukan foto-foto *pattern grid* kemudian *execute project*. Dari proses ini akan diketahui

parameter kalibrasi untuk kamera yaitu Parameter-parameter tersebut antara lain panjang fokus kamera (c), *Principle point* (X_0, Y_0), parameter distorsi yang meliputi radial (K_1, K_2, K_3), parameter distorsi *decentering* (P_1, P_2), dan parameter distorsi *Affinity* (b_1, b_2). Selain itu, untuk menjaga kualitas dari kalibrasi yang dilakukan, *Root Mean Square* (RMS) residual harus bernilai

Pengukuran volume air

Pembuatan titik kontrol

Sebelum memulai memotret obyek terlebih dahulu akan di buat tiga titik kontrol yang terletak diluar obyek berfungsi untuk mengikat setiap epoch pemotretan supaya setiap epoch memiliki sistem koordinat yang sama. Ketiga titik kontrol tersebut juga berfungsi untuk mengubah dari sistem koordinat model tiga dimensi yang dihasilkan oleh *software* Photomodeller menjadi sistem koordinat lokal menyerupai sistem koordinat tanah, hal ini bertujuan pada saat perhitungan volume dengan metode *cut and fill* pada *software* surpac vision dimana perhitungan volume berdasarkan koodinat antara dua penampang atau selisih antar epoch. Penentuan volume tidak akan dapat dilakukan apabila sistem koordinat obyek masih dalam sistem koordinat model 3D untuk melakukan penentuan metode *Cut and Fill software* surpac vision.

Pemotretan Obyek

Dari pemotretan obyek yang dilakukan akan didapatkan dua jenis data yang akan dipakai dalam proses perhitungan volume yaitu :

- 1) Data *boundary* yaitu batas dari sisi obyek itu sendiri dalam hal ini obyek berbentuk silinder, hal ini berarti *boundary* berbentuk lingkaran. Obyek di foto dari tampak samping, foto berjumlah 10 buah foto.
- 2) Data ketinggian permukaan air di dalam penampungan untuk masing-masing epoch. Epoch 1 adalah keadaan obyek tanpa air atau dasar, epoch 2 keadaan obyek terisi air 10 liter dan epoch 3 keadaan obyek terisi 15 liter air. setiap epoch mempunyai sample tinggi sebanyak 7 titik dan masing-masing epoch memliki 8 buah foto, Obyek di foto dari tampak atas.

Pengolahan Data

Proses Interior Orientasion (IO)

Proses *Interior Orientation* dilakukan dengan menggunakan *software Photomodeller Scanner*. Proses ini bertujuan untuk mentransformasi koordinat titik obyek dari koordinat piksel menjadi

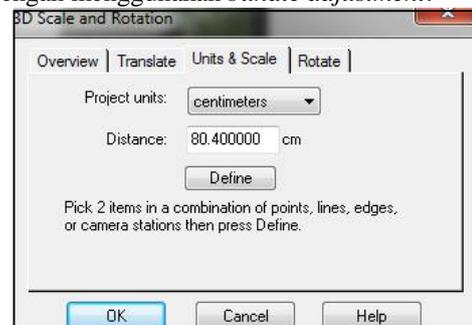
koordinat foto. Hal ini dilakukan untuk mereduksi kesalahan geometri yang terdapat pada foto. Hal yang dibutuhkan adalah informasi parameter kamera yang didapat pada saat kalibrasi kamera. Proses *Interior Orientation* dalam perangkat lunak Photomodeller Scanner disebut dengan *Idealize*. Biasanya, perbedaan yang mencolok dari foto sebelum dan sesudah dilakukan proses *idealize* adalah terlihat pada sisi dari foto yang ditandai dengan berwarna hitam. Seperti gambar dibawah, gambar sebelah kiri adalah foto sebelum dilakukan proses IO sedangkan foto sebelah kanan adalah stelah proses IO.

Proses *Marking, Referencing* dan *Scaling*

Marking dan *Referencing* dilakukan untuk menandai titik-titik objek dan mengidentifikasi titik yang sama pada setiap foto yang berbeda. Untuk membentuk suatu model 3D diperlukan titik-titik yang sama minimal pada dua buah foto yang berbeda dan untuk setiap foto dibutuhkan minimal 6 buah titik yang terlihat pada foto lainnya. Proses ini akan membuat foto terorientasi.

Penentuan titik yang tepat antara dua foto atau lebih sangat berpengaruh untuk kualitas dari model yang dihasilkan. Penandaan titik dilakukan secara manual dengan bantuan *zooming* agar memiliki akurasi yang baik. Proses *marking* dilakukan dengan metode *Least Square Matching* (LSM). Dalam prosesnya, *Marking* dan *Referencing* dapat dilakukan secara bersamaan.

Model tiga dimensi yang akan dihasilkan nantinya masih dalam ukuran model, sehingga dimensi ukuran obyek perlu disesuaikan dengan ukuran obyek sebenarnya di lapangan sebelum dilakukan perhitungan volume. Maka selanjutnya perlu dilakukan proses *scaling* yang berfungsi memberikan satuan pada ukuran obyek. Proses *scaling* dilakukan dengan memasukan jarak antara dua titik yang telah diketahui jarak sebenarnya dilapangan ke titik yang sama. Proses orientasi relatif dan absolut pada pengolahan ini dilakukan dengan menggunakan *bundle adjustment*.



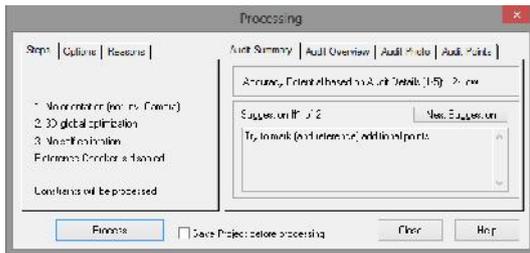
Gambar 7 : Proses *Scaling*

scaling menggunakan dua titik *marking*

pada obyek dan memasukkan informasi jarak seperti terlihat pada gambar diatas jarak dimasukan pada kolom menu *distance*. Hasil dari proses ini adalah koordinat model 3D obyek memiliki satuan.

III.3.5.3 Pembentukan Model 3D

Setelah foto terorientasi dan telah ditandai titik-titik yang akan di modelkan melalui tahapan *Marking* dan *Referencing*, maka selanjutnya adalah membuat model 3 dimensi obyek. Pembuatan model 3D diawali dengan munculnya kotak dialog *processing* seperti gambar berikut :



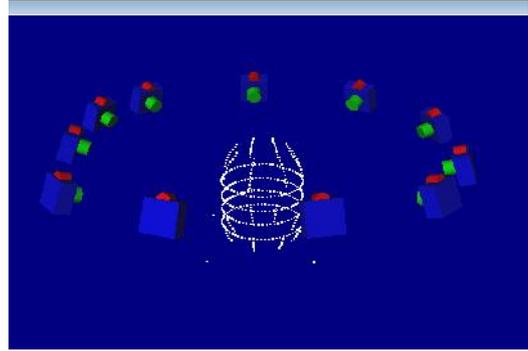
Gambar 8 : Kotak dialog *Processing*

Ada empat tahapan proses yang muncul pada proses pembentukan 3D yaitu *Orientation*, *Global Optimization*, *Self Calibration*, dan *Reference checker*. *Orientation* adalah proses penentuan posisi dan orientasi relatif dari kamera pada saat melakukan pemotretan. *Global Optimization* adalah proses pengoptimalan dan meminimalisasikan kesalahan yang terjadi pada titik *marking*, pembentukan model 3D, penentuan sudut, serta posisi kamera. Sedangkan dua tahapan selanjutnya, *Self-calibration* dan *Reference Checker* tidak dilakukan dalam pengolahan data penelitian ini.

Pada kotak dialog *processing* terdapat empat macam Audit. *Audit Summary* untuk memberikan keterangan kualitas dari *project* yang akan diproses. *Audit Overview* menginformasikan mengenai kualitas keseluruhan foto dan jumlah titik referensi yang dipakai. *Audit Photo* untuk memberikan informasi yang terdapat pada masing-masing foto yang mencakup jumlah minimal, maksimal, dan rata-rata untuk titik pada masing-masing foto, cakupan area masing-masing foto, dan fidusial tiap foto. *Audit Points* menginformasikan kualitas titik 3D yang terbentuk dari foto yang mencakup jumlah minimum, maksimum, dan rata-rata untuk perpotongan berkas sinar tiap titik, sudut perpotongan berkas sinar, dan *ray tigtmess* (tidak memotongnya berkas) serta jumlah persentase titik pada suatu foto dan kedua foto.

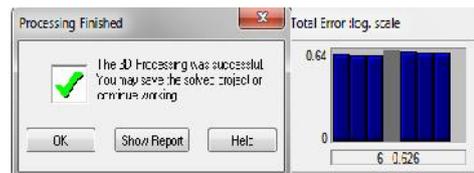
Jika proses dapat dilakukan, maka obyek

akan membentuk model 3D seperti berikut :



Gambar 9 : Hasil pemodelan 3D obyek

Sebagai tambahan, titik-titik *Marking Point* yang dihasilkan berkualitas atau tidak dapat dilihat pada *Total Error : Log Scale* berupa grafik kesalahan berisi diagram batang dimana setiap batangnya menunjukkan akumulasi kesalahan pembentukan model 3D yang dihasilkan memiliki nilai dibawah satu piksel.



Gambar 10: *Report Processing*

Proses 3D Scale and Rotation

Terdapat empat *project* pengolahan yang dikerjakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Data *boundary* yaitu obyek di foto dari samping.
2. Data epoch pertama keadaan obyek tidak terisi air.
3. Data epoch kedua keadaan obyek terisi air 10 liter
4. Data epoch ketiga keadaan air terisi air 15 liter

Masing-masing dari *project* tersebut diolah dengan melalui tahapan-tahapan sebelumnya yaitu proses *idealize*, *marking*, *referencing*, *scaling* dan *Processing 3D*. Maka selanjutnya adalah membuat setiap *project* memiliki sistem koordinat yang sama supaya setiap *project* dapat digabungkan ke satu *window* atau satu *project* pada *software* surpac vision.

Dengan menggunakan titik kontrol yang diletakkan diluar obyek yaitu titik P1,P2 dan P3 yang sebelumnya sudah dihitung koordinat lokalnya menggunakan data jarak setiap sisinya, maka selanjutnya nilai koordinta titik tersebut akan di input kan ke setiap *project*

dengan menggunakan bantuan 3D *scale and Rotation*. Contoh seperti gambar berikut:



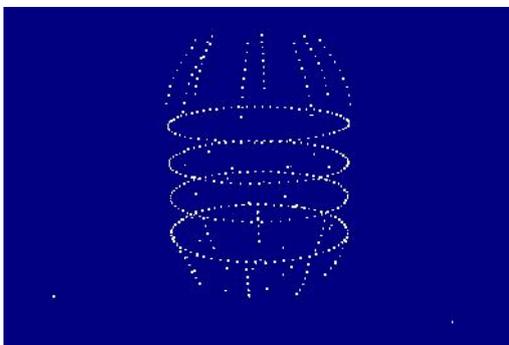
Gambar 11 : Proses 3D Scale and Rotation

Setelah semua project memiliki sistem koordinat yang sama maka semua project dapat digabungkan dengan memilih *open merge project* pada *software Photomodeller Scanner* kemudian *add project* pilihlah semua *project* yang akan , seperti gambar dibawah ini :



Gambar 12: Kotak dialog Open Merge Project

Pilih *add project* dan pilih *project* mana saja yang akan digabung. Setelah proses ini selesai maka *project* akan tampak seperti gambar berikut :



Gambar 13 Gabungan semua Project

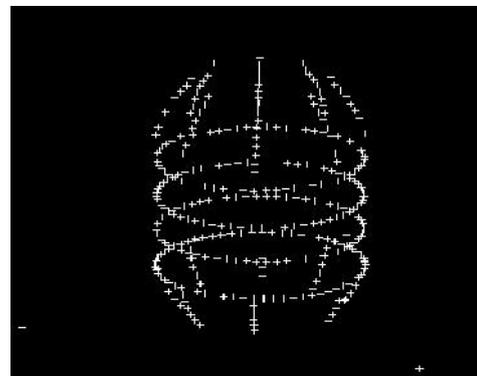
Pada gambar diatas terlihat ada beberapa titik di dalam dimensi obyek, itu merupakan sampel tinggi setiap epoch yang telah digabungkan menjadi satu *project*. Dapat terlihat didalam dimensi penampungan air terdapat titik-titik tinggi dari masing-masing epoch.

Penentuan volume

Perhitungan volume air menggunakan *software* Surpac Vision dimana metode yang digunakan dalam perhitungan air adalah metode *Cut and Fill*. Sehingga didapatkan selisih volume antara foto epoch pertama dengan foto epoch kedua, foto epoch pertama dengan foto epoch ketiga dan foto epoch kedua dengan foto epoch ketiga. Proses penentuan volume meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut:

Editing pada software surpac vision

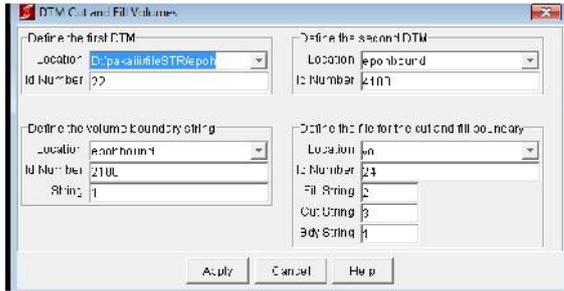
Sebelum menentukan volume panggil terlebih dahulu semua file yang telah di simpan dalam bentuk .CSV ke surpac maka file .CSV akan berubah menjadi file .Str seperti gambar berikut :



Gambar 14 : Koordinat obyek file .Str (dimensi)

Hasil penentuan volume metode cut and fill

Syarat untuk menghitung volume dengan *metode cut and fill* adalah *first DTM* yaitu DTM yang dijadikan dasar atau dalam kasus ini permukaan air bagian bawah, yang kedua adalah *second DTM* bagian atas permukaan air dan yang ketiga adalah batas dari DTM tersebut dalam hal ini adalah *boundary* yaitu luas keliling obyek tersebut. semua syarat tersebut akan diminta dalam kotak dialog penentuan volume seperti gambar berikut :



Gambar 15 : Kotak dialog perhitungan volume

Setelah proses ini akan didapatkan volume antar epoch seperti berikut dalam format .not :

Hasil penentuan volume antara epoch 1 dan epoch 2. Pada gambar 3.28 dibawah ini, bagian yang dilingkari dengan batas warna merah adalah hasil dari perhitungan selisih antara DTM epoch 1 dan DTM epoch 2.

Segment	Cut volume	Cut Area	Fill Volume
1	0.0	0.0	10353.4

Gambar 16 : Hasil perhitungan volume epoch 1 dan 2

Hasil Penentuan volume antara epoch 2 dan epoch 3. Pada gambar 3.29 dibawah ini, bagian yang dilingkari dengan batas warna merah adalah hasil dari perhitungan selisih antara DTM epoch 2 dan DTM epoch 3.

Segment	Cut volume	Cut Area	Fill Volume
1	0.0	0.0	5399.0

Gambar 17 Hasil perhitungan volume epoch 2 dan 3

Hasil penentuan volume antara epoch 1 dan epoch 3. Pada gambar 3.30 dibawah ini, bagian yang dilingkari dengan batas warna merah adalah hasil dari perhitungan selisih antara DTM epoch 1 dan DTM epoch 3.

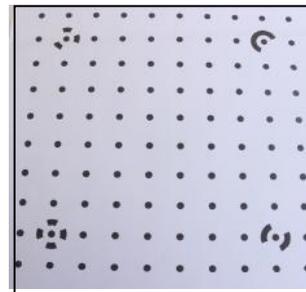
Segment	Cut volume	Cut Area	Fill Volume
1	0.0	0.0	15752.5

Gambar 18: Hasil perhitungan volume epoch 1 dan epoch 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Hitungan Kalibrasi

Kalibrasi kamera yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *in field calibration*. Proses kalibrasi dilakukan dengan memotret *pattern* kalibrasi berupa kumpulan titik berjumlah 100 dengan empat titik diantaranya merupakan titik kontrol. Perangkat lunak akan mengenali titik-titik tersebut secara *automatic marking*, kemudian dilanjutkan dengan proses *automatic referencing* untuk orientasi. Hasil kalibrasi diterima apabila nilai RMS total pada saat proses kalibrasi kurang dari satu piksel. Adapun nilai RMS total hasil kalibrasi kamera yang diperoleh adalah 0,243 *pixels*.



Gambar 19: Pattern Grid Kalibrasi Kamera

Data yang tertera pada Tabel 4.1 menunjukkan data hasil penghitungan parameter kalibrasi menggunakan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner*. X_p dan Y_p merupakan nilai titik pusat foto (*principal point*), sedangkan K_1, K_2, K_3 merupakan nilai distorsi radial lensa kamera, dan P_1, P_2 merupakan nilai distorsi tangensial.

Tabel 1: Hasil penghitungan kalibrasi kamera

Parameter Kamera DSLR Nikon D600	
Panjang fokus (mm)	18.284052
Xp (mm)	11.168515
Yp (mm)	7.697912
K1	5.391e-004
K2	-1.114e-006
K3	0.000e+000
P1	6.912e-005
P2	1.686e-004

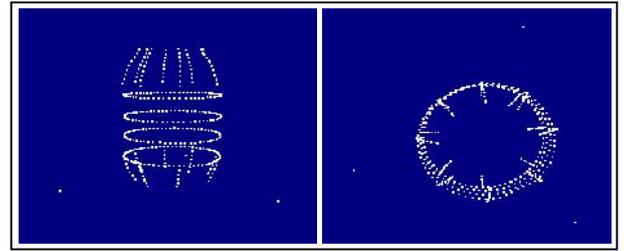
Hasil Perhitungan Koordinat Titik Kontrol

Pembuatan titik diluar obyek berjumlah tiga buah titik yaitu P1,P2 dan P3 dan didesain berbentuk segitiga dengan jarak yang diukur menggunakan pita ukur yang kemudian dihitung koordinatnya menggunakan rumus segitiga. Hasil adalah seperti pada tabel berikut :

Tabel 2: Hasil perhitungan Koordinat titik kontrol

Nama titik	Sudut	Jarak (cm)	X	Y	Z
P1	58.47903889		556.8513852	556.8513852	10
		80.4			
P2	60.38825556		500	500	10
		77.6			
P3	61.13270556		574.8180258	479.408181	10
		79.5			
P1					

Titik kontrol di letakkan di luar obyek hal ini dengan tujuan untuk mengikat setiap epoch pemotretan dengan catatan setiap epoch harus terlihat titik kontrol yang sama dan juga dengan menggunakan nilai koordinat titik P1,P2 dan P3 akan mengubah sistem koordinat foto ke sistem koordinat tanah hal ini sekaligus merotasi arah sumbu X,Y dan Z pada model tiga dimensi obyek karena arah sumbu X,Y dan Z pada model tiga dimensi obyek akan mengikuti sudut pandang kamera terhadap obyek. seperti pada gambar berikut :



Gambar 20: Pengaruh input koordinat hitungan ke model 3D obyek

Pada gambar bagian kiri adalah obyek yang dihasilkan langsung dari pemotretan jarak dekat sedangkan gambar bagian kanan adalah obyek telah dirotasi menggunakan tiga titik koordinat yang telah diketahui nilai koordinatnya yaitu P1,P2 dan P3. Dari kedua gambar diatas dapat dilihat yang membedakannya adalah bukan hanya sudut pandang dari obyek tetapi nilai dari tiap titik telah mengalami transformasi. Pembuatan titik kontrol di luar obyek ini bermaksud agar setiap epoch memiliki satu sistem koordinat karena setiap epoch diolah dalam project yang berbeda yang memiliki koordinat model tiga dimensi masing-masing namun meskipun demikian ukuran sebenarnya pada obyek tidaklah berubah oleh karena itu dengan membuat setiap project memiliki sistem koordinat yang sama maka selisih volume antar epoch dapat dihitung.

Hasil Pemotretan

Kamera yang digunakan dalam penelitian adalah kamera DSLR Canon 600D yang memiliki sensor dengan dimensi 22.3 mm x 14.9 mm CMOS sensor dengan total pixels 18.7 juta. Ukuran citra hasil pemotretan menggunakan kamera tersebut adalah 5184 x 3456 piksel. Ada dua jenis data yang dibedakan dalam penelitian ini yaitu data *boundary* dan data epoch.

Data Boundary

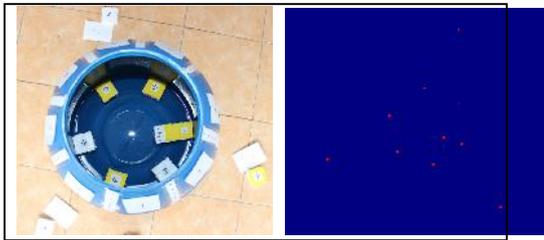
Data *boundary* adalah data luas keliling obyek atau batas yang digunakan untuk melakukan perhitungan volume metode *cut and fill* pada obyek penampungan air. Data ini juga membentuk tiga dimensi pada obyek berupa titik-titik. Data *boundary* didapatkan dengan cara menempelkan target retro ke sisi obyek. berikut adalah contoh gambar data *boundary* :



Gambar 21 *Boundary* Obyek

Data Epoch

Pada penelitian ini yang dimaksud dengan data epoch adalah keadaan obyek atau penampungan air yang berisi volume air dengan ukuran yang telah terukur menggunakan liter air yang standart, yang nantinya akan dibandingkan dengan volume dari pengukuran epoch menggunakan kamera DSLR. Terdapat tiga keadaan volume dalam penelitian ini yaitu selisih antara epoch 1 dengan epoch 2 yaitu sebesar 10 liter, selisih epoch 2 dengan epoch 3 yaitu sebesar 5 liter air dan selisih antar epoch 1 dengan epoch 3 yaitu sebesar 15 liter air. Setiap Project epoch mempunyai 10 titik yang dihasilkan yaitu 3 titik kontrol dan 7 titik ketinggian permukaan air. berikut adalah contoh hasil koordinat epoch :



Gambar 22 Hasil Koordinat epoch 1

Tabel 3 Koordinat epoch 1

ID Point	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)
1	575.1322	479.3415	10
7	556.8514	556.8514	10
13	500	500	10
19	550.3323	509.6774	20.42037
25	528.4228	518.7414	20.84733
31	556.4278	523.6409	20.60555
37	546.5163	498.6019	20.604
43	531.586	503.8344	20.87514
49	542.5036	530.1223	20.68467
55	557.9465	506.7845	20.48062

Tabel 3 diatas adalah hasil koordinat dari data epoch 1. Point 1,7 dan 13 adalah titik kontrol diluar obyek penampungan sedangkan titik yang lainnya adalah sampel tinggi yang berada di dalam obyek.

Kualitas Titik 3D

Analisis presisi data koordinat foto dilakukan pada masing-masing objek bangun ruang. Analisis presisi dilakukan dengan memperhatikan nilai piksel residual serta uji statistik untuk melihat adanya kesalahan kasar. Informasi nilai *maximal residual* dapat dilihat pada report proses perangkat lunak *Photomodeler Scanner*.

Analisis presisi dengan uji statistik dilakukan setelah koordinat hasil pengolahan foto didapat, yaitu dengan menggunakan simpangan baku masing- masing objek bangun ruang (). Rentang kepercayaan yang digunakan adalah ± 2 atau sebesar 95%. berikut ini adalah contoh analisa dari hasil koordinat epoch 1 :

Tabel 4 Analisa presisi koordinat 3D Epoch 1

Keterangan	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
Maksimum	0.07600	0.06865	0.1102
Minimum	0.02162	0.02024	0.09153
Standart Deviasi	0.019362 185	0.0178695 23	0.0057111 97
Rentan Kepercayaan 2	- 0.038724 37 < X_i < 0.038724 37	- 0.0357390 46 < Y_i < 0.0357390 46	- 0.0114223 93 < Z_i < 0.0357390 46
RMS Residual	- 0.391 < RMSresidual < 0.391		

Hasil dari uji statistik menunjukkan bahwa semua nilai simpangan baku dari masing-masing komponen titik 3D balok berada pada toleransi pengukuran sebesar ± 2 . Begitu juga dengan nilai RMS residual. Untuk presisi koordinat x terdapat satu titik berada di luar rentang kepercayaan yaitu pada point ke 13, untuk presisi koordinat y terdapat dua titik yang berada diluar rentan kepercayaan yaitu pada point 1 dan 7 dan untuk koordinat z semua titik berada diluar rentan kepercayaan dan kesalahan presisi rata-rata sebesar ± 1 mm.

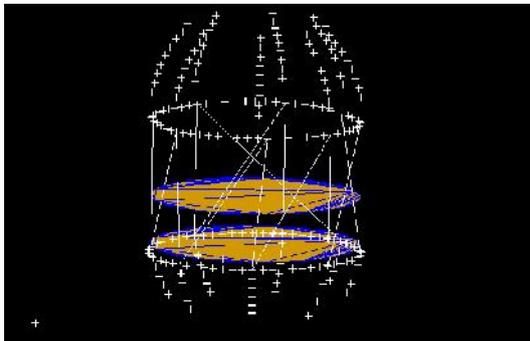
Tabel 5 Perbandingan tinggi dasar air

Nama	Tinggi Pengukuran Manual (cm)	Rata-rata tinggi hasil pemotretan (cm)	Selisih (cm)
epoch 1 ke 2	10.1	9.754290214	0.34570979
epoch 2 ke 3	5.1	4.393692443	0.70630756
epoch 1 ke 3	15.2	14.14798266	1.05201734
		Standart deviasi ()	0.2883702
		Rentan kepercayaan 2	0.57674041

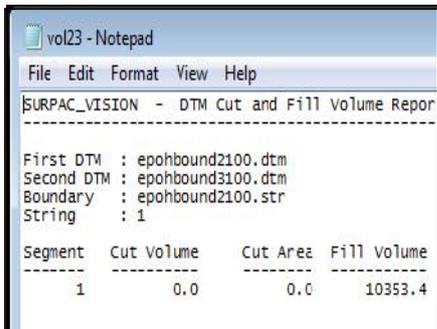
Penentuan Volume Hasil Metode Fotogrametri Jarak Dekat

Penentuan volume data epoch 1 dan epoch 2

Volume ditentukan menggunakan software surpac vision dengan menjadikan epoch 1 sebagai first DTM dan epoch 2 sebagai second DTM maka selisih kedua data tersebut akan diketahui nilai volumenya. Dimana selisih antara epoch 1 dengan epoch 2 adalah sebesar 10 liter air yang diukur menggunakan takaran liter air, dengan memasukan volume air sebesar 10 liter air menggunakan takaran air maka data ini akan dijadikan pembanding terhadap hasil dari perhitungan volume menggunakan surpac dengan metode cut and fill. Hasil dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut :



Gambar 23 Penentuan volume data epoch 1 dan 2



Gambar 24 Hasil perhitungan volume pada Surpac

Berdasarkan tabel 4.10 diatas terdapat dua hasil tinggi yaitu tinggi pengukuran manual didapat dengan menggunakan roll meter dengan mengukur kenaikan permukaan air dan tinggi rata-rata yang didapat dari meletakkan titik-titik target diatas permukaan air selisih antara kedua data tersebut tidak jauh berbeda. Namun jika dilihat dari rentan kepercayaan hanya ada satu tinggi titik yang memiliki akurasi yang baik yaitu pada tinggi epoch 2 ke epoch 3 dengan besar selisih 0.34570979cm dimana volume antara kedua epoch tersebut paling kecil dari yang lainnya yaitu sebesar 5 liter air. Sedangkan selisih tinggi yang paling besar yaitu pada tinggi antara epoch 1 dan epoch 3 dengan besar selisih 1.05201734cm dimana volume antara kedua epoch tersebut sebesar 15 liter air.

Analisa Perbandingan Hasil

Untuk menguji kualitas besarnya nilai volume dari data yang didapat menggunakan metode fotogrametri jarak dekat dengan, maka diperlukan volume pembanding yang dianggap benar. volume yang dianggap benar adalah data takaran liter air dan data yang dihitung secara matematis dengan datanya yang diukur langsung terhadap obyek. Hasil volume akan ditampilkan pada tabel 4.10 berikut :

Nama	Selisih volume dalam liter dengan volume hitungan matematis (liter)	Selisih volume dalam liter dengan volume hasil Fotogrametri Jarak Dekat (liter)	Selisih volume matematis dengan volume hasil Fotogrametri Jarak Dekat (liter)
Volume 1	0.275336	0.35341	0.078074
Volume 2	0.188536	0.399	0.210464
Volume 3	0.463872	0.7525	0.288628

Tabel 6 Perbandingan hasil volume

Berdasarkan tabel 4.11 diatas terdapat tiga hasil perbandingan data yaitu 1) Selisih antara volume dalam liter dengan volume hitungan matematis. 2) Selisih antara volume dalam liter dengan volume hasil metode fotogrametri jarak dekat. 3) Selisih antara volume hitungan matematis dengan volume hasil metode fotogrametri jarak dekat.

Berdasarkan hasil penelitian ini, besar selisih volume 1, volume 2 dan volume 3

mengalami kenaikan selisih secara konstan untuk selisih volume hasil metode fotogrametri jarak dekat dikarenakan tiap data epoch diikatkan ke titik kontrol diluar obyek dimana semakin jauh jarak vertikal permukaan air atau data epoch dengan titik ikat yang berada diluar obyek maka selisih volume yang dihasilkan semakin besar. Namun perbedaannya dapat dilihat pada hasil volume dalam literan dengan hasil volume matematis (1) dimana kesalahan akan semakin besar apabila volume dalam obyek semakin besar, selisih volume yang paling kecil terdapat pada volume 2 dengan selisih 5 liter air.

PENUTUP

Setelah melakukan penelitian dan diperoleh hasil akhirnya kemudian dilakukan analisa terhadap hasilnya. dapat ditarik kesimpulan dan saran adalah sebagai berikut.

Kesimpulan

1. Hasil perhitungan volume bangun ruang sederhana menggunakan metode fotogrametri jarak dekat menggunakan *software* Surpac vision metode *cut and fill* dengan volume 1 adalah selisih antara epoch 1 dengan epoch 2 sebesar 10.35341 liter, volume 2 adalah selisih antara epoch 2 dengan epoch 3 sebesar 5.399 liter dan volume 3 adalah selisih antara epoch 1 dan epoch 3 sebesar 15.7525 liter.
2. Selisih volume antara perhitungan matematis dengan penentuan volume metode fotogrametri jarak dekat adalah untuk volume 1 dengan isi 10 liter atau 10000 cm³ air adalah sebesar 0.078074 liter atau 78.074 cm³, selisih volume 2 dengan isi 5 liter atau 5000 cm³ air adalah 0.210464 atau 210.464 cm³ dan volume 3 dengan isi 15 liter atau 15000 cm³ air 0.288628 liter atau 288.628 cm³.
3. Obyek yang difoto dari tampak atas, setelah sistem koordinatnya diubah dari sistem koordinat model 3D obyek menjadi sistem koordinat tanah atau kartesian 3D akan memiliki ketelitian yang kurang baik untuk nilai vertikalnya, hal ini karena kamera hanya dapat membuat fokus yang baik pada permukaan air atau data epoch tetapi fokus yang kurang baik pada titik ikat untuk tiap epoch yang berada diluar obyek dalam satu kali pemotretan.
 4. Semakin baik pada saat melakukan *marking point*, maka semakin baik pula kualitas koordinat tiga dimensi obyek.

SARAN

1. Pada saat pemotretan usahakan ditempatkan yang memiliki intensitas

cahaya yang baik, karena cahaya akan mempengaruhi kualitas foto yang akan diolah.

2. Total *Root Mean Square* yang dihasilkan nilainya harus dibawah satu piksel. Selain untuk menghasilkan akurasi yang baik, juga untuk menghindari perambatan kesalahan pada proses selanjutnya.
3. Melakukan proses *Marking and Referencing* dengan teliti karena proses ini dilakukan dengan cara manual pada *software* sehingga mempengaruhi hasil.

REFERENSI

- Atkinson, K.B., 1996, *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, United Kingdom.
- Bungaran, Roy. 2012. Penentuan Bangun Ruang Sederhana Menggunakan Metode Fotogrametri Jarak Dekat. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi. ITN. Malang
- Danurwendi, Cahaya. 2012. *Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Dalam bidang Arsitektur Lansekap*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi. ITB. Bandung.
- Faridh, Habibi. 2013. *Penggabungan Model dan Ekstraksi dengan Teknik Close Range Fotogrametri Menggunakan Kamera IP*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITN, Malang.
- Fraser, C, S. 1998B. *Automated Processes In Digital Photogrammetric Calibration, Orientation, and Triangulation, Digital Signal, Processing*, 8:277-283.
- Harvey, Bruce R. 1993. *Monograph 13 Practical Least Squares*. School of Surveying. University Of New South Wales. Australia.
- Ikawati N. 2012. *Analisis Ketelitian Pergeseran Titik Target Terhadap Variasi Resolusi Foto Pada Teknik Fotogrametri Jarak Dekat*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Nugroho, Daniel Adi. 2003. *Pembuatan Model Permukaan Digital Dari Sumber Citra Aster Secara Semi Otomatis*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Prastyo, A.D., dkk. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo*. Jurusan Teknik

- Geodesi Fakultas Teknik Universitas
Dipenogoro. Semarang.
- Sahdan, A.Y. 2006. *Penggunaan
Penyepadanan Imej Berdasarkan
kawasan Dalam Fotogrametri Jarak
Dekat Bagi Pengukuran Permukaan
Struktur*. Fakulti Kejuruteraan Awam.
Johor: Universiti Teknologi Malaysia.
- Soeta'at. 1994. *Diktat Fotogrametri Analitik*.
Jurusan Teknik Geodesi Fakultas
Teknik Universitas Gadjah Mada.
Yogyakarta.