

STUDI KUALITAS HASIL HITUNGAN VOLUME BERDASARKAN PENGARUH JARAK PADA KAMERA NON METRIK DENGAN MENGGUNAKAN METODE FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

Zulkarnaen Agung Prawira¹, M. Edwin Tjahjadi², Leo Pantinema²
Program Studi Teknik Geodesi
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang
Kampus I : Jalan Bendungan Sigura-gura 2 Malang

Abstrak

Fotogrametri jarak dekat merupakan teknologi fotogrametri untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam dengan kamera. Dalam perekaman tersebut, kamera diletakkan di permukaan bumi (terestris) dengan jarak antara obyek yang diukur dengan kamera tidak lebih dari 100 meter (Hanifa 2007). Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam penerapan metode fotogrametri jarak dekat adalah jarak pengambilan foto dari obyek ke kamera yang akan berpengaruh pada ketelitian data yang dihasilkan. Jarak pengambilan foto dari obyek ke kamera berkaitan dengan resolusi spasial yang akan berpengaruh terhadap ketelitian yang dihasilkan. Selain itu juga memengaruhi besar cakupan obyek dalam foto sehingga jarak menjadi pertimbangan untuk menghasilkan data yang akurat dengan cakupan foto yang optimal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kualitas hasil pengukuran dengan fotogrametri jarak dekat untuk obyek berdimensi kecil. Penelitian ini diharapkan dapat memberi pertimbangan pada penerapan metode fotogrametri jarak dekat khususnya dalam pemilihan jarak pemotretan sehingga efektivitas hasil dari metode ini dapat ditingkatkan.

Selisih volume obyek bangun ruang dari hasil perhitungan volume yang sudah dipengaruhi jarak pemotretan, yaitu $\pm 2m$, $\pm 4m$, $\pm 6m$ dengan metode fotogrametri jarak dekat menggunakan software *Surpac* terhadap nilai volume pembandingan yang dianggap benar adalah sebesar 31.2048 cm³, 187.5552 cm³, dan 399.4652 cm³. Sedangkan selisih nilai volume berdasarkan analisis model 3D masing-masing adalah 9.0500 cm³, 229.3890 cm³, dan 418.2726 cm³.

Kata kunci : fotogrametri jarak dekat, jarak obyek ke kamera, kualitas volume

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Fotogrametri jarak dekat merupakan teknologi fotogrametri untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam dengan kamera. Dalam perekaman tersebut, kamera diletakkan di permukaan bumi (terestris) dengan jarak antara obyek yang diukur dengan kamera tidak lebih dari 100 meter (Atkinson, 1996).

Aguilar M.A.,dkk (2004) menyatakan bahwa salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam peneapan metode fotogrametri jarak dekat adalah jarak pengambilan foto dari obyek ke kamera yang akan berpengaruh pada ketelitian data yang dihasilkan. Jarak pengambilan foto dari obyek ke kamera berkaitan dengan resolusi spasial yang akan berpengaruh terhadap ketelitian yang dihasilkan. Selain itu juga memengaruhi besar cakupan obyek dalam foto sehingga jarak menjadi pertimbangan untuk menghasilkan data yang akurat dengan cakupan foto yang optimal.

Obyek penelitian yang digunakan merupakan bangun ruang sederhana berupa balok. Bangun ruang sederhana tersebut dipotret dengan tiga (3) variasi jarak, yaitu $\pm 2m$, $\pm 4m$, dan $\pm 6m$

selanjutnya dimo-delkan secara tiga dimensi dengan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner*. Perangkat lunak ini memiliki kelebihan untuk melakukan proses kalibrasi kamera, membentuk model tiga dimensi dengan proses *marking and referencing*, serta menghasilkan titik-titik tiga dimensi yang mempunyai nilai berupa koordinat kartesian 3D yang dapat disesuaikan dengan ukuran sebenarnya dan didefinisikan dalam koordinat X, Y, dan Z. Selanjutnya untuk perhitungan volume dari bangun ruang menggunakan perangkat lunak tambahan *Surpac* dan juga berdasarkan perhitungan matematis hasil analisis model 3D.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap kualitas hasil pengukuran dengan fotogrametri jarak dekat untuk obyek berdimensi kecil. Penelitian ini diharapkan dapat memberi pertimbangan pada penerapan metode fotogrametri jarak dekat khususnya dalam pemilihan jarak pemotretan sehingga efektivitas hasil dari metode ini dapat ditingkatkan.

Tujuan

Jarak pengambilan foto dari obyek ke kamera akan berpengaruh terhadap cakupan foto. Selain itu jarak pengambilan foto juga berkaitan dengan resolusi spasial yang akan berpengaruh terhadap ketelitian yang dihasilkan. Berdasarkan

rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menghitung volume bangun ruang sederhana yang sudah dipengaruhi oleh perubahan jarak menggunakan metode fotogrametri jarak dekat dengan kamera digital non metrik dan diolah dengan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner* dan *Surpac*.
2. Mengetahui kualitas hitungan volume hasil pengukuran fotogrametri jarak dekat terhadap perubahan jarak pemotretan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka permasalahan yang timbul dalam pengerjaan penelitian ini adalah :

1. Apakah jarak pemotretan dari obyek ke kamera berpengaruh terhadap kualitas hasil hitungan volume dengan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat ?
2. Mengetahui bagaimana perbandingan perhitungan volume secara matematis dan dengan menggunakan fotogrametri jarak dekat yang sudah dipengaruhi oleh perubahan jarak dalam pengambilan obyeknya

Batasan Masalah

Agar pembahasan dapat lebih terarah dan fokus, maka sangatlah perlu adanya batasan masalah. Adapun hal yang membatasi penelitian ini antara lain :

1. Pemotretan obyek studi dilakukan dengan menggunakan kamera digital dengan panjang fokus yang sama untuk setiap perubahan jarak pengambilan foto.
2. Kalibrasi kamera yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *in field calibration* dengan menggunakan target cetakan calibration grid berupa titik-titik target dengan empat buah titik control yang diperoleh dari perangkat lunak *Photomodeller Scanner 6.2*.
3. Pengukuran dilakukan pada bangun ruang sederhana yang berbentuk balok.
4. Pengambilan foto dilakukan dengan tiga variasi jarak, yaitu ± 2 meter, ± 4 meter, dan ± 6 meter.
5. Pengambilan foto dilakukan dengan arah pemotretan yang konvergen.
6. Proses *Marking and Referencing* dilakukan secara bersamaan dengan cara manual.
7. Transformasi ukuran model 3D dengan ukuran sebenarnya dilakukan dengan metode *scaling*.
8. Perhitungan volume secara matematis sebagai data pembanding.

Manfaat Penelitian

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil manfaat sebagai bahan pertimbangan dalam penerapan teknik fotogrametri jarak dekat. Jarak pengambilan foto serta cakupan foto yang optimal diharapkan dapat menghasilkan hitungan yang

akurat sehingga teknik fotogrametri jarak dekat dapat diterapkan lebih lanjut terkait dengan pengukuran obyek dengan dimensi yang relatif kecil.

Tinjauan Pustaka

Foto udara dianggap merupakan proyeksi sentral, dengan kamera sebagai pusat proyeksi. Oleh karena itu setiap titik objek selalu dihubungkan oleh garis sinar ke titik yang bersesuaian pada foto, melalui kamera. Keadaan segaris antara titik obyek yang diamati, foto, dan kamera diwujudkan oleh persamaan yang disebut persamaan kolinier (*collinearity equation*) (Soeta'at, 1994).

Close Range Photogrametry digunakan untuk mendeskripsikan teknik fotogrametri saat jarak dari objek yang diukur kurang dari 100 meter dan kamera diletakkan dekat dengan objek (Atkinson, 1996).

Leitch dan Coon (2012) melakukan pemodelan terhadap tiga struktur yaitu bangunan *First United Bank Center*, tangga penahan erosi, dan patung koboi *Tex Randall* menggunakan perangkat lunak *Photomodeller*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbedaan ukuran di lapangan dengan hasil pengolahan menggunakan perangkat lunak *Photomodeller* sebesar 0-2% dari besar ukuran. Perangkat lunak *Photomodeller* sangat bermanfaat untuk obyek dengan kumpulan titik, garis, dan lekukan yang jelas/ tajam.

Bungaran Roy Satria tambunan (2013) melakukan perhitungan volume dengan menggunakan metode *Close Range Photogrametry*. Hasil dari penelitian menggunakan Metode *Close Range Photogrametry* dengan menggunakan balok, tabung, dan bola terhadap nilai volume pembanding yang dianggap benar adalah sebesar 26.6793125 cm³ , 87.0067 cm³ , dan 680.617 cm³ sedangkan selisih nilai volume berdasarkan analisis model 3D masing - masing adalah sebesar 7.8757 cm³ , 11.2243 cm³ dan 179.504 cm³ . Analisis presisi dilakukan dengan uji statistik menggunakan simpangan baku. Batas toleransi pengukuran yang digunakan adalah $\pm 2\sigma$ sedangkan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa metode fotogrametri jarak dekat untuk perhitungan volume dapat menjadi solusi alternatif.

Jarak merupakan salah satu aspek yang berpengaruh pada tingkat ketelitian yang dihasilkan dengan metode fotogrametri jarak dekat. Penelitian kali ini dilakukan dengan variasi jarak kamera ke obyek untuk membandingkan perbedaan ketelitian volume yang dihasilkan dengan jarak pemotretan yang berbeda.

METODELOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang akan dijadikan sebagai studi kasus dari penelitian dilaksanakan di

lapangan bola SMAN 7 Malang di Malang, Jawa Timur.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Adapun koordinat geografis dari lokasi penelitian terletak pada $7^{\circ}56'45.22''$ LS dan $112^{\circ}37'46.89''$ BT. Lokasi ini dipilih dengan pertimbangan stasiun pemotretan yang mengelilingi objek dengan jarak yang sama untuk setiap pengambilan gambarnya agar menghasilkan gambar yang memiliki kualitas fokus yang baik. Sehingga pertimbangan daerah yang cukup lapang sangat memungkinkan untuk dilakukannya penelitian ini.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*), yaitu :

1. Perangkat lunak (*software*)

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri atas :

- Sistem Operasi komputer berbasis *Windows 7 Ultimate 64-bit*,
- *Microsoft Office 2010* untuk pengetikan dan pembuatan laporan,
- *Microsoft Excel 2010* untuk pemindahan data koordinat 3D,
- *PhotoModeler Scanner V6.2.2.596* untuk kalibrasi kamera dan pengolahan data foto
- *Surpac Vision V6.2* untuk melakukan perhitungan volume.

2. Perangkat keras (*hardware*)

Adapun perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri atas :

- Laptop *Lenove B490* dengan spesifikasi *Intel Core i-3, DDR 3 RAM 2,00 GB, harddisk 640 GB* untuk melakukan pelaporan dan pengolahan data.
- *Printer* untuk mencetak hasil pelaporan.
- Kamera *Digital Single Lens Reflect Canon 60D* dan lensa *AF Cannon 50mm f/1.8D* untuk pemotretan objek

Spesifikasi Kamera Canon EOS 60D

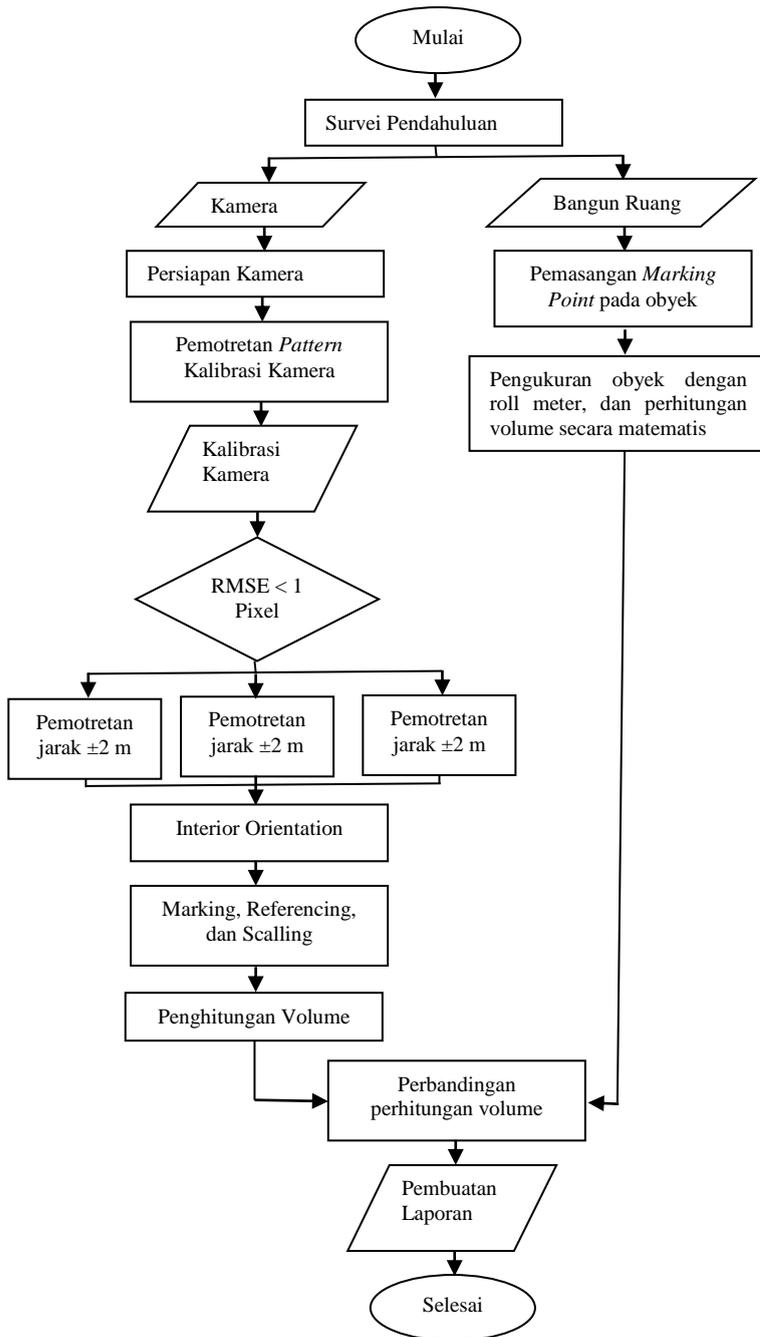
Fitur	Spesifikasi
Ukuran (L x W x H cm)	14.5 x 10.6 x 7.9 cm
Berat (kg)	0.75
Warna	Hitam
Tipe	Canon EOS 60D
Ukuran Layar (in)	3.0
Megapiksel	18.0
Fitur	HD Recording Image Stabilization Wide Angle
Garansi produk	1 Tahun Garansi (<i>Spare-part</i> dan Servis)
Input	USB
Output	Component Video Composite Video 3.5mm jack USB HDMI
Resolusi Layar	1040000 dots
Tipe Baterai	Li-Ion
Format Foto	JPEG, RAW
Ukuran File Foto	5184 x 3456
Format Video	MOV
Video HD	Ya
Resolusi Video	1920x1080
Focal Length	18 - 55mm
Image Stabilization	Ya
Range Aperture Lensa	f/3.5-5.6
ISO Range	100-3200
Range Shutter Speed	30 - 1/8000 detik
Built in Flash	Ya
Tipe Memory Card	SD/SDHC/SDXC
HDMI Port	Ya
Tipe Layar	LCD Layar

- *Memory Micro SD 4GB* untuk penyimpanan data hasil pemotretan.
- Roll Meter untuk mengukur jarak antar titik pada saat *scaling* dan menentukan jarak tempat berdirinya kamera.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

- *Template pattern* berukuran A4 untuk melakukan kalibrasi kamera.
- Bangun ruang sederhana berupa balok.
- *Marking Point* dicetak dari *template patern* dan Foto-foto bangun ruang sederhana dari jarak $\pm 2m$, $\pm 4m$, dan $\pm 6m$.

Diagram Alir



HASIL DAN PEMBAHASAN

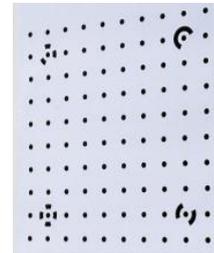
Hasil Hitungan Kalibrasi

Kamera fotogrametri pasti tercipta dengan ketidaksempurnaan dan tidak mempunyai lensa yang sempurna. Oleh karena itu, untuk menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi pada kamera, maka dibutuhkan pengkalibrasian kamera. Kalibrasi

kamera merupakan proses untuk mendapatkan parameter kamera yang akan digunakan untuk melakukan koreksi geometri pada foto yang dihasilkan oleh kamera meliputi distorsi

radial, tangensial, serta parameter lainnya. Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya sehingga memberikan ketelitian yang kurang baik, namun tidak mempengaruhi kualitas ketajaman citra yang dihasilkan.

Kalibrasi kamera yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode *in field calibration*. Proses kalibrasi dilakukan dengan memotret *pattern* kalibrasi berupa kumpulan titik dengan ukuran 10x10 dengan empat titik di antaranya 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 0,1684.



Gambar 2. *Automatic marking* saat proses kalibrasi kamera

Data yang tertera pada Tabel IV.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 perhitungan kalibrasi kamera

Parameter Kamera DSLR Canon 60D dan <i>Fixed Lens</i> 50mm f 1.8	
Panjang fokus (mm)	56.023345
X_p (mm)	11.283768
Y_p (mm)	7.479895
K_1	2.811e-005
K_2	2.545e-008
K_3	0.000e+000
P_1	0.000e+000
P_2	0.000e+000

Hasil Pengukuran Bangun Ruang Dengan Roll Meter dan Perhitungan Volume Matematis

Hasil pengukuran dengan menggunakan roll meter dan perhitungannya secara matematis diperlukan sebagai data pembandingan hasil pemodelan obyek dan dianggap sebagai data benar. Dengan adanya volume yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan roll meter, maka akan diketahui kedekatan volume hasil pemodelan obyek pada *PhotoModeler Scanner* terhadap data pembandingan tersebut. Obyek penelitian berupa bangun ruang yang berbentuk Balok.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat roll meter. Pengukuran balok dilakukan dengan cara mengukur keempat sisi masing-masing dari panjang, lebar dan tinggi balok kemudian dirata-ratakan. Besarnya volume dihitung secara matematis dengan menggunakan rumus perhitungan volume. Berikut hasil perhitungan matematis sehingga didapatkan volume obyek bangun ruang balok.

Tabel 2. Hasil Pengukuran sisi-sisi balok

Komponen	Sisi	Sisi	Sisi	Sisi	Rata-rata (cm)	Std. Dev (σ)
	1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)		
Panjang (p)	44.8	45.1	44	44.6	44.725	0.2986
Lebar (l)	27.1	27.2	27.1	27	27.1	0.08
Tinggi (t)	23.2	23.2	23.1	23.2	23.175	0.0500

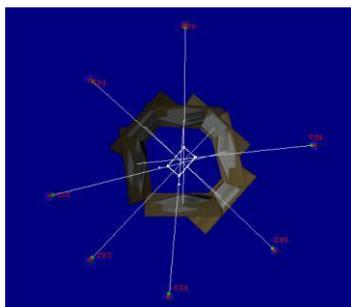
Maka, dapat dihitung volume dari bangun ruang balok :

$$\text{Volume Balok} = p \times l \times t = 28089.2008 \text{ cm}^3$$

Hasil Pemotretan

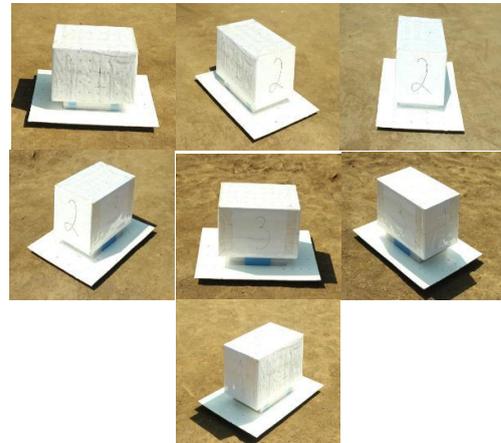
Kamera yang digunakan dalam penelitian adalah kamera DSLR Canon EOS 60D dan *Fixed lens 50mm f 1.8* yang memiliki sensor dengan dimensi 23.6 mm x 15.8 mm CMOS sensor dengan total *pixels* 12.9 juta. Ukuran citra hasil pemotretan menggunakan kamera tersebut adalah 4288 x 2848 piksel.

Hasil Pemotretan Bangun Ruang Balok pada Jarak ±2m



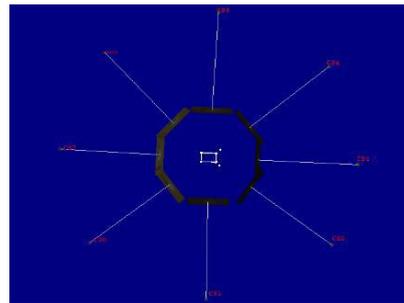
Gambar 3. Kedudukan kamera pada saat pemotretan

Foto hasil pemotretan bangun ruang balok pada jarak pemotretan ±2m ada sebanyak 7 buah. Hasil foto dapat dilihat pada Gambar 4. Berikut :



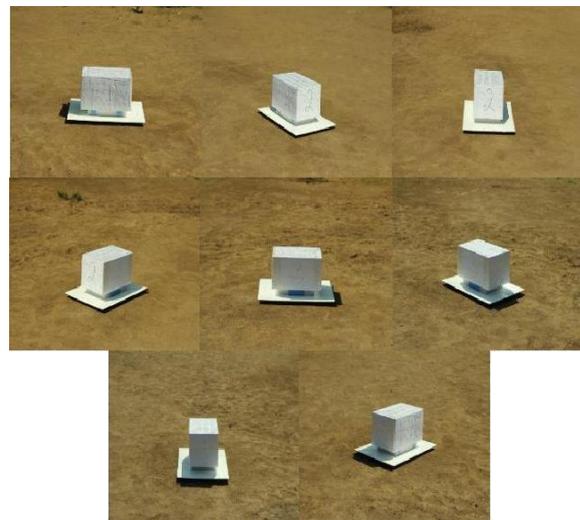
Gambar 4. Foto Obyek Bangun ruang balok pada jarak pemotretan ±2m

Hasil Pemotretan Bangun Ruang Balok pada Jarak ±4m



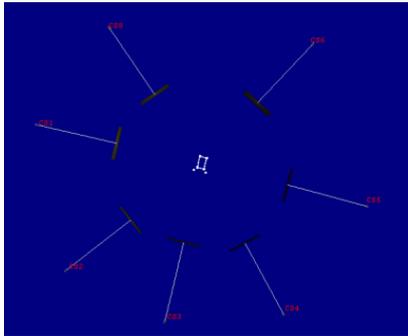
Gambar 5. Kedudukan kamera pada saat pemotretan

Foto hasil pemotretan bangun ruang balok pada jarak pemotretan ±4m ada sebanyak 8 buah. Hasil foto dapat dilihat pada Gambar 6. Berikut :



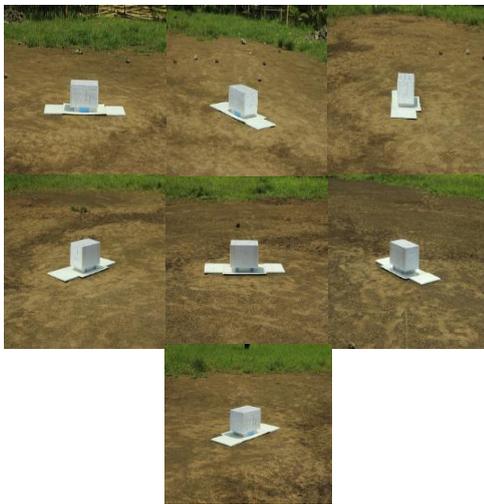
Gambar 6. Foto Obyek Bangun ruang balok pada jarak pemotretan ±4m

Hasil Pemotretan Bangun Ruang Balok pada Jarak ±6m



Gambar 7. Kedudukan kamera pada saat pemotretan

Foto hasil pemotretan bangun ruang balok pada jarak pemotretan ±6m ada sebanyak 7 buah. Hasil foto dapat dilihat pada Gambar 8. Berikut :



Gambar 8. Foto Obyek Bangun ruang balok pada jarak pemotretan ±6m

Hasil Titik 3D

Secara umum, seluruh data yang dikumpulkan dan diproses akan menghasilkan titik yang mempunyai dimensi tiga dimensi yang dipresentasikan dengan koordinat X, Y, dan Z. Koordinat yang dihasilkan merupakan koordinat model dan penyesuaian dengan ukuran sebenarnya dilakukan dengan orientasi absolut yang menggunakan *scaling*. Kualitas titik 3D memperhatikan nilai piksel residual, ketelitian koordinat, dan sudut antar sinar yang membentuk model 3D. Informasi nilai *maximal residual* terlihat pada *status bar* perangkat lunak *Photomodeler Scanner*. *Status bar* adalah bagian dari perangkat lunak *Photomodeler Scanner* yang berisi informasi hasil pengolahan yang terletak pada bagian bawah tampilan utama. Adapun kualitas koordinat obyek tiga dimensi yang sudah melalui proses *scaling* pada setiap jarak pemotretan ditunjukkan pada Tabel 3., Tabel 4., Tabel 5.

Tabel 3. Evaluasi kualitas Koordinat 3D *scaled* jarak pemotretan ±2m

Id	Jumlah Foto	Koordinat (cm)			Precision (cm)			RMS (piksel)	Sudut (°)
		X	Y	Z	x	y	z		
1	7	5.836	30.135	-266.622	0.00406	0.00331	0.00379	0.58334	89.531
4	7	-21.299	16.351	-233.746	0.00405	0.00323	0.00376	0.66392	89.879
6	5	-22.766	-4.567	-243.688	0.00406	0.00362	0.00455	0.52018	85.354
8	4	4.641	9.238	-276.710	0.00512	0.00440	0.00423	0.49534	84.325
10	7	0.217	8.253	-219.469	0.00392	0.00307	0.00401	0.61864	89.756
14	6	-38.056	-9.881	-241.579	0.00417	0.00322	0.00448	0.58432	88.312
16	6	-0.360	-23.654	-216.359	0.00455	0.00311	0.00425	0.59753	88.581
57	5	-1.159	-12.761	-229.252	0.00448	0.00330	0.00443	0.59872	86.954
59	4	25.750	1.077	-261.956	0.00478	0.00416	0.00501	0.51996	87.683
73	7	27.101	21.835	-251.997	0.00409	0.00313	0.00399	0.23968	87.519
Rata-rata					0.004330	0.003456	0.00425	0.542163	87.790

Tabel 4. Evaluasi kualitas Koordinat 3D *scaled* jarak pemotretan ±4m

Id	Jumlah Foto	Koordinat (cm)			Precision (cm)			RMS (piksel)	Sudut (°)
		X	Y	Z	x	y	z		
1	8	-21.748	10.774	-424.680	0.008249	0.005131	0.007754	0.464	89.296
3	8	23.149	9.457	-425.028	0.007976	0.005240	0.007496	0.631	89.900
5	5	22.426	-13.061	-431.111	0.009557	0.006307	0.008333	0.585	88.261
7	5	-22.754	-11.720	-430.904	0.009442	0.006681	0.008354	0.670	89.831
8	8	23.038	16.638	-451.174	0.008095	0.005826	0.006985	0.849	89.099
10	8	-21.362	17.919	-450.896	0.008268	0.005649	0.007528	0.569	89.481
12	7	34.819	-20.415	-423.328	0.009813	0.005711	0.008409	0.561	89.484
14	7	34.690	-7.310	-468.881	0.009886	0.005433	0.008539	0.678	88.473
57	5	22.358	-5.877	-457.379	0.009427	0.006624	0.008169	0.465	89.139
59	5	-22.206	-4.281	-456.986	0.009417	0.006584	0.008440	0.269	88.767
Rata-rata					0.009012	0.005919	0.008001	0.5741	89.173

Tabel 4. Evaluasi kualitas Koordinat 3D scaled jarak pemotretan ±6m

Id	Jumlah Foto	Koordinat (cm)			Precision (cm)			RMS (piksel)	Sudut (°)
		X	Y	Z	x	y	z		
1	8	-25.076	7.849	-617.277	0.014257	0.008207	0.01393	0.513	87.480
3	8	19.938	7.533	-613.528	0.012925	0.008241	0.01372	0.687	88.588
5	5	20.210	-15.784	-616.795	0.014986	0.009450	0.01394	0.393	89.429
7	4	-25.225	-15.551	-620.385	0.015896	0.010677	0.01609	0.344	87.542
9	8	22.134	10.693	-640.329	0.013443	0.008939	0.01266	0.599	89.556
11	8	-22.321	10.923	-644.408	0.013393	0.008618	0.01449	0.603	89.954
13	6	32.284	-20.591	-606.902	0.016509	0.008731	0.01651	0.364	87.623
14	6	34.689	-15.058	-653.917	0.017709	0.008640	0.01619	0.660	88.521
58	5	22.307	-12.540	-643.144	0.015462	0.009552	0.01342	0.567	89.636
59	4	-22.312	-12.104	-646.905	0.015859	0.010541	0.01676	0.475	76.491
Rata-rata					0.015044	0.009160	0.01477	0.520478	87.482

Nilai ketelitian pada setiap koordinat tersebut dianggap sudah mewakili nilai titik-titik yang lain dimana nilai rerata ketelitian x lebih besar dari nilai rerata ketelitian y dan z. Dari tabel IV.3, IV.4, dan IV.5 diperoleh nilai rerata ketelitian x, y dan z untuk setiap jarak pemotretan. Nilai rerata dari ketelitian pada jarak pemotretan ±2m yaitu 0.004330, 0.003456, dan 0.00425. Nilai rerata dari ketelitian pada jarak pemotretan ±4m yaitu 0.009012, 0.005919, dan 0.008001. Sedangkan nilai rerata dari ketelitian x, y dan z pada jarak pemotretan ±6m yaitu 0.01504, 0.009160, dan 0.01477. Nilai tersebut dalam cm. Hasil rerata dari ketelitian x, y dan z menunjukkan ketelitian pada jarak pemotretan ±2m lebih baik daripada ketelitian pada jarak ±4m dan ±6m. Dan juga akurasi dan ketelitian titik tiga dimensi dikatakan baik tergantung dari kualitas pemotretan yang ditandai dengan nilai Root Mean Square (RMS). Semakin kecil nilai RMS yang dihasilkan, maka semakin baik kualitas titik yang dihasilkan dan begitu pula untuk sebaliknya.

Pengukuran Fotogrametri Jarak Dekat Dengan Pengukuran Menggunakan Roll Meter

Setelah didapatkan titik-titik 3D-nya, maka dapat dihitung jarak masing-masing titik. Untuk menguji kualitas besarnya nilai panjang, lebar, dan tinggi dapat menggunakan metode fotogrametri jarak dekat, diperlukan data pembanding yang dianggap benar yaitu data yang diambil dengan menggunakan roll meter. Tabel IV.6 menunjukkan hasil perbandingan dari pengukuran tersebut.

Tabel 6. Perbandingan sisi-sisi

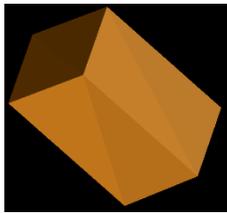
Komponen	Pengukuran dengan			Rata-Rata Sisi dari Fotogrametri Jarak Dekat (cm)	Rata-Rata Sisi dari Roll Meter (cm)	Selisih Rata-Rata (cm)	
	Fotogrametri Jarak Dekat (cm)	Roll Meter (cm)	Selisih (cm)				
Bangun Ruang Balok pada Jarak Pemotretan ± 2m							
Panjang (p)	Sisi 1	44.801	44.8	0.001	44.691	44.725	0.034
	Sisi 2	45.080	45.1	0.020			
	Sisi 3	44.329	44.4	0.071			
	Sisi 4	44.553	44.6	0.047			
Lebar (l)	Sisi 1	27.061	27.1	0.039	27.107	27.1	0.007
	Sisi 2	27.244	27.2	0.044			
	Sisi 3	27.107	27.1	0.007			
	Sisi 4	27.014	27	0.014			
Tinggi (t)	Sisi 1	23.208	23.2	0.008	23.180	23.175	0.005
	Sisi 2	23.217	23.2	0.017			
	Sisi 3	23.061	23.1	0.039			
	Sisi 4	23.232	23.2	0.032			
RMS			0.03452970				
Bangun Ruang Balok pada Jarak Pemotretan ± 4m							
Panjang (p)	Sisi 1		44.8	0.1078	44.775	44.725	0.05
	Sisi 2	45.187	45.1	0.0866			
	Sisi 3	44.419	44.4	0.0192			
	Sisi 4	44.587	44.6	0.0126			
Lebar (l)	Sisi 1	27.126	27.1	0.0263	27.165	27.1	0.065
	Sisi 2	27.226	27.2	0.0258			
	Sisi 3	27.174	27.1	0.0741			
	Sisi 4	27.135	27	0.1351			
Tinggi (t)	Sisi 1	23.335	23.2	0.1351	23.282	23.175	0.107
	Sisi 2	23.403	23.2	0.2027			
	Sisi 3	23.026	23.1	0.0739			
	Sisi 4	23.364	23.2	0.1638			
RMS			0.106607				
Bangun Ruang Balok pada Jarak Pemotretan ± 6m							
Panjang (p)	Sisi 1	45.171	44.8	0.371	45.043	44.725	0.318
	Sisi 2	45.578	45.1	0.478			
	Sisi 3	44.642	44.4	0.242			
	Sisi 4	44.780	44.6	0.180			
Lebar (l)	Sisi 1	27.076	27.1	0.024	27.013	27.1	0.087
	Sisi 2	26.630	27.2	0.570			
	Sisi 3	27.443	27.1	0.343			
	Sisi 4	26.901	27	0.099			
Tinggi (t)	Sisi 1	23.546	23.2	0.346	23.430	23.175	0.255
	Sisi 2	23.403	23.2	0.203			
	Sisi 3	23.163	23.1	0.063			
	Sisi 4	23.606	23.2	0.406			
RMS			0.321415				
Nilai selisih sisi minimum =				0.001			
Nilai selisih sisi maksimum =				0.570			
Nilai selisih sisi rata - rata minimum =				0.005			
Nilai selisih sisi rata - rata maksimum =				0.318			

Perbandingan sisi-sisi dari pemodelan 3D Photomodeller dan dengan data yang dianggap benar, yaitu roll meter pada bangun ruang balok pada tabel IV.6 dengan selisih terbesar terdapat pada jarak pemotretan ±6m pada komponen lebar pada sisi 2 dengan besarnya nilai selisih 0.570 cm. Sedangkan untuk nilai selisih terkecil terdapat pada jarak pemotretan ±2m dengan komponen panjang pada sisi 1 dengan besarnya nilai selisih 0.001 cm, dan dari rata-rata per komponen (panjang, lebar, dan tinggi) selisih terbesar terdapat pada jarak

pemotretan $\pm 6m$ pada komponen panjang sebesar 0.318 cm, sedangkan untuk nilai selisih terkecil terdapat pada jarak pemotretan $\pm 2m$ pada komponen tinggi sebesar 0.005 cm. Dari analisis sisi-sisi ketiga pemodelan 3D (jarak pemotretan $\pm 2m$, jarak pemotretan $\pm 4m$, dan jarak pemotretan $\pm 6m$) dari *photomodeller*, Jarak pemotretan $\pm 2m$ memiliki sisi-sisi yang hampir mendekati nilai yang dianggap benar.

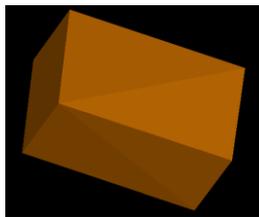
Hasil Perhitungan Volume Bangun Ruang Dengan Menggunakan Software Surpac

Gambar 3. menunjukkan hasil pemodelan tiga dimensi untuk bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 2 meter yang berupa DTM. Selanjutnya, dengan menggunakan *Software Surpac* dapat dihitung besarnya nilai volume dari DTM bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 2 meter yang terbentuk. Besarnya nilai volume dari bangun ruang balok adalah sebesar 28057.996 cm³.



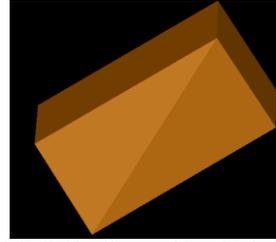
Gambar 11. DTM hasil pemodelan 3D balok pada jarak pemotretan ± 2 meter

Gambar 4. menunjukkan hasil pemodelan tiga dimensi untuk bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 4 meter yang berupa DTM. Selanjutnya, dengan menggunakan *Software Surpac* dapat dihitung besarnya nilai volume dari DTM bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 4 meter yang terbentuk. Besarnya nilai volume dari bangun ruang balok adalah sebesar 28276.756 cm³.



Gambar 12. DTM hasil pemodelan 3D balok pada jarak pemotretan ± 4 meter

Gambar 5. menunjukkan hasil pemodelan tiga dimensi untuk bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 6 meter yang berupa DTM. Selanjutnya, dengan menggunakan *Software Surpac* dapat dihitung besarnya nilai volume dari DTM bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 6 meter yang terbentuk. Besarnya nilai volume dari bangun ruang balok adalah sebesar 28488.666 cm³.



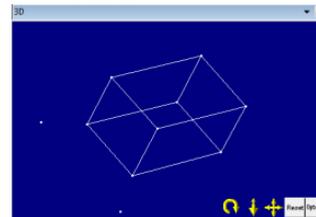
Gambar 13. DTM hasil pemodelan 3D balok pada jarak pemotretan ± 6 meter

Hasil Pengukuran Sisi Bangun Ruang Dari Titik 3D Dengan Fotogrametri Jarak Dekat dan Perhitungan Volume Secara Matematis

Titik-titik 3D hasil pemodelan, selanjutnya dihubungkan antara titik yang satu dengan titik yang lainnya. Sehingga jarak antar masing-masing titik dapat diketahui jumlahnya. Dengan adanya volume yang diperoleh dari pengukuran sisi dari titik 3D dengan menggunakan *PhotoModeler Scanner*, maka akan diketahui kedekatan volume hasil hitungan matematis dengan menggunakan roll meter sebagai data pembandingan tersebut selain menggunakan *software Surpac*.

Pengukuran panjang sisi bangun ruang menggunakan fotogrametri jarak dekat sama dengan menggunakan roll meter. Bedanya pengukuran panjang sisi pada fotogrametri jarak dekat dilakukan dengan menggunakan *software PhotoModeler Scanner*. Besarnya nilai volume juga dihitung secara matematis dengan menggunakan rumus perhitungan volume. Berikut hasil perhitungan matematis sehingga didapatkan volume obyek bangun ruang balok yang sudah dipengaruhi jarak dalam pemotretannya ($\pm 2m$, $\pm 4m$, dan $6m$).

Perhitungan Volume Bangun Ruang Balok pada Jarak Pemotretan $\pm 2m$



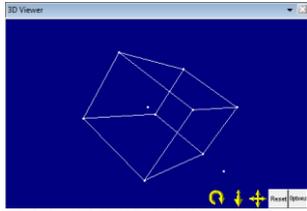
Gambar 14. Model dari titik 3D balok pada jarak pemotretan $\pm 2m$

Tabel 7. Hasil pengukuran sisi balok pada

Komponen	Sisi 1 (cm)	Sisi 2 (cm)	Sisi 3 (cm)	Sisi 4 (cm)	Rata-rata (cm)	RMS
Panjang (p)	44.801	45.080	44.329	44.553	44.691	0.280
Lebar (l)	27.061	27.244	27.107	27.014	27.107	0.086
Tinggi (t)	23.208	23.217	23.061	23.232	23.180	0.069

Besarnya nilai volume dari bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 2 meter adalah sebesar 28080.1508 cm³

Perhitungan Volume Bangun Ruang Balok pada Jarak Pemotretan ± 4 m



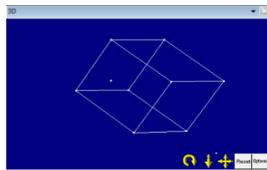
Gambar 15. Model dari titik 3D balok pada jarak pemotretan ± 4 m

Tabel 8. Hasil pengukuran sisi balok pada jarak pemotretan ± 4 m

Komponen	Sisi 1 (cm)	Sisi 2 (cm)	Sisi 3 (cm)	Sisi 4 (cm)	Rata-rata (cm)	RMS
Panjang (p)	44.908	45.187	44.419	44.587	44.775	0.296
Lebar (l)	27.126	27.226	27.174	27.135	27.165	0.039
Tinggi (t)	23.335	23.403	23.026	23.364	23.282	0.150

Besarnya nilai volume dari bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 4 meter adalah sebesar 28318.5898 cm³

Perhitungan Volume Bangun Ruang Balok pada Jarak Pemotretan ± 6 m



Gambar 16. Model dari titik 3D balok pada jarak pemotretan ± 6 m

Tabel 9. Hasil pengukuran sisi balok pada jarak pemotretan ± 6 m

Komponen	Sisi 1 (cm)	Sisi 2 (cm)	Sisi 3 (cm)	Sisi 4 (cm)	Rata-rata (cm)	RMS
Panjang (p)	45.171	45.578	44.642	44.780	45.043	0.365
Lebar (l)	27.076	26.630	27.443	26.901	27.013	0.295
Tinggi (t)	23.546	23.403	23.163	23.606	23.430	0.171

Besarnya nilai volume dari bangun ruang balok pada jarak pemotretan ± 6 meter adalah sebesar 28507.4734 cm³.

Perbandingan Volume Hasil Perhitungan Fotogrametri Jarak Dekat Dengan Menggunakan Software Surpac Dan Perhitungan Volume Secara Matematis Dengan Menggunakan Roll Meter

Untuk menguji kualitas nilai volume yang didapat dengan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat yang sudah dipengaruhi jarak dengan menggunakan software *Surpac*, maka diperlukan

data volume pembanding yang dianggap benar. Tabel 10. menunjukkan hasil perbandingan dari perhitungan volume tersebut.

Tabel 10. Tabel perbandingan besarnya nilai volume

Nama Bangun Ruang	Perhitungan Matematis (cm ³)	Nilai Volume		
		Fotogrametri Jarak Dekat (Surpac) (cm ³)		Selisih (cm ³)
		Jarak Pemotretan	Hasil Perhitungan	
Balok	28089.2008	± 2 m	28057.996	31.2048
		± 4 m	28276.756	187.5552
		± 6 m	28488.666	399.4652

Perbandingan volume pada tabel 10. dengan selisih terbesar terdapat pada volume balok pada jarak pemotretan ± 6 m dengan besarnya nilai selisih 399.4625 cm³. Sedangkan untuk nilai selisih volume terkecil terdapat pada volume balok pada jarak pemotretan ± 2 m dengan besarnya nilai selisih 31.2048 cm³.

Perbandingan Volume Hasil Perhitungan Fotogrametri Jarak Dekat Dengan Menggunakan Hasil Analisis Panjang Sisi Dari Titik 3D Dan Perhitungan Volume Secara Matematis Dengan Menggunakan Roll Meter

Selain diuji dengan menggunakan software *Surpac*, penelitian ini juga membahas perhitungan volume berdasarkan hasil uji analisis panjang sisi dari titik 3D masing-masing bangun ruang. Untuk menguji kualitas besarnya nilai volume yang didapat dengan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat, maka dibandingkan kembali dengan data volume pembanding yang dianggap benar yaitu volume yang diukur dengan menggunakan roll meter. Tabel 11. menunjukkan hasil perbandingan dari perhitungan volume tersebut.

Tabel 11. Tabel perbandingan besarnya nilai volume

Nama Bangun Ruang	Perhitungan Matematis (cm ³)	Nilai Volume		
		Fotogrametri Jarak Dekat (cm ³)		Selisih (cm ³)
		Jarak Pemotretan	Hasil Perhitungan	
Balok	28089.2008	± 2 m	28080.15083	9.0500
		± 4 m	28318.58978	229.3890
		± 6 m	28507.47345	418.2726

Perbandingan volume pada tabel 11, dengan selisih terbesar masih terdapat pada

volume jarak pemotretan $\pm 6m$ dengan besarnya nilai selisih 418.2726 cm³. Sedangkan untuk nilai selisih volume terkecil tetap terdapat pada jarak pemotretan $\pm 2m$ dengan besarnya nilai selisih 9.0500 cm³. Berdasarkan perbandingan antara tabel 10 dan table 11, nilai volume yang mendekati volume yang dianggap benar adalah nilai volume pada jarak pemotretan $\pm 2m$.

Perbandingan Volume Hasil Perhitungan Fotogrametri Jarak Dekat Dengan Perhitungan Volume Secara Matematis Dengan Menggunakan Roll Meter (Data Yang Dianggap Benar)

Tabel 12. Tabel perbandingan besarnya nilai volume

Jarak Pemotretan	Nilai Volume				
	Perhitungan matematis dengan roll meter (cm ³)	Fotogrametri Jarak Dekat		Selisih volume menggunakan software <i>Surpac</i> dengan Roll meter (cm ³)	Selisih volume hasil dari analisis model 3D dengan Roll meter (cm ³)
		Menggunakan software <i>Surpac</i> (cm ³)	Perhitungan matematis dari analisis model 3D (cm ³)		
$\pm 2m$	28089.2008	28057.996	28080.15083	31.2048125	9.0500
$\pm 4m$		28276.756	28318.58978	187.555187	229.3890
$\pm 6m$		28488.666	28507.47345	399.465187	418.2726

Berdasarkan tabel 12, untuk menghasilkan besarnya nilai volume yang tidak jauh berbeda dengan besarnya nilai volume hasil pengukuran dengan menggunakan roll meter, maka jarak pemotretan akan sangat berpengaruh terhadap ketelitian hitungan volume. Selain itu jarak pemotretan juga mempengaruhi besarnya cakupan obyek pada foto sehingga akan berpengaruh terhadap ketelitian yang dihasilkan, sehingga ketelitian hasil pengolahan foto akan berbanding terhadap jarak pemotretan. Semakin dekat jarak pemotretan maka ketelitian hitungan semakin bertambah, dan mendekati hasil hitungan yang dianggap benar.

KESIMPULAN

Setelah melakukan penghitungan volume bangun ruang sederhana dengan metode fotogrametri jarak dekat yang sudah dipengaruhi oleh jarak pemotretan dan diperoleh hasil akhirnya kemudian dilakukan perbandingan terhadap data yang dianggap benar. Adapun yang dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan volume bangun ruang balok menggunakan metode fotogrametri jarak dekat menggunakan software *Surpac* dengan jarak pemotretan $\pm 2m$, $\pm 4m$, dan $\pm 6m$ adalah sebesar 28057.996 cm³, 28276.756 cm³, dan 28488.666 cm³. Sedangkan nilai volume berdasarkan analisis model 3D masing-masing adalah 28080.15083 cm³, 28318.58978 cm³, dan 28507.47345 cm³.

2. Selisih volume obyek bangun ruang dari hasil perhitungan volume yang sudah dipengaruhi jarak pemotretan, yaitu $\pm 2m$, $\pm 4m$, $\pm 6m$ dengan metode fotogrametri jarak dekat menggunakan software *Surpac* terhadap nilai volume perbandingan yang dianggap benar adalah sebesar 31.2048 cm³, 187.5552 cm³, dan 399.4652 cm³. Sedangkan selisih nilai volume berdasarkan analisis model 3D masing-masing adalah 9.0500 cm³, 229.3890 cm³, dan 418.2726 cm³.
3. Penelitian dilakukan dengan melakukan pemotretan pada jarak ± 2 meter, ± 4 meter, dan ± 6 meter secara konvergen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin jauh jarak pemotretan, ketelitian yang dihasilkan semakin berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilar, M. A., et al, 2004, The Evaluation of Close-range Photogrammetry for the Modelling of Mouldboard Plough Surfaces, Biosystems Engineering (2005). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 1989, "Nontopographic Photogrammetry, Second Edition", ASPRS Publisher, Virginia.
- Atkinson, K.B., 1996, Close Range Photogrammetry and Machine Vision, Whittles Publishing, United Kingdom.
- 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.
- Hanifa, R., 2007. Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik Auto Focus untuk Pemantauan Deformasi. Tesis. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.
- 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.
- Leitch, K. R. And Coon, M.B., 2012, Noncontact Modelling of Structures Using Close-Range Digital Photogrammetry, Practice Periodical on Structural Design and Construction, ASCE.

- Nugroho, D. A., 2003. Pembuatan Model Permukaan Digital Dari Sumber Citra Aster Secara Semi Otomatis. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Pantimena L., 2011, "Evaluasi Perhitungan Bundle adjustment untuk Foto Stereo", *Spectra*, No. 18 vol. IX, hal 58-71.
- Setyadi D.P., 1998. Pemanfaatan Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pembuatan Model Digital dan Cetak Biru Benda Cagar Budaya, skripsi, Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soeta'at. 1994. Diktat Fotogrametri Analitik. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.