

## **Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo**

Akhmad Didik Prastyo<sup>1)</sup> Ir. Sawitri Subiyanto. M.Si.<sup>2)</sup> Andri Suprayogi, ST., MT.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>2)</sup> Dosen Pembimbing I Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>3)</sup> Dosen Pembimbing II Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

### **ABSTRACT**

*Close range photogrammetry is a one of photogrammetry applications. It can be used for the object measurement that is less than 100 meters. It also usually used in 3D modeling of buildings, vehicles or bridges.*

*In this final task, close range photogrammetry method was used for 3D modeling of 1st temple in Gedong Songo Temple using non-metric digital camera. Initially, the camera must through of calibration process to determine the camera internal parameters. The process of calibration and data processing in this final task are using PhotoModeler Scanner v.6 software. Phase of buildings modeling contain of marking and referencing, calculating and 3D modeling, transformation of 3D coordinate and visualization of 3D models.*

*The final results in this research is 3D model of 1st Temple in Gedong Songo Temple. Testing of the results in 3D modelling processing was done by comparing the 3D model coordinates refernced to Electronic Total Station measurement and comparison with the distance of the measuring tape. The average value of the ratio of the coordinate error is 0.087 meters and the average distance error of comparison with the measuring tape is 0.099 meters.*

*Keyword: Close range photogrammetry, Building Modeling, Temple, Non-Metric Digital Camera, PhotoModeler Scanner V.6.*

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan bangunan bersejarah di kota-kota besar sedang dimaksimalkan untuk menjaga dan melestarikan bangunan tersebut agar tidak hilang ditelan waktu. Bangunan bersejarah biasanya mulai digunakan sebagai kantor instansi pemerintah, museum, tempat ibadah dan tempat wisata. Semarang merupakan daerah yang banyak dikelilingi oleh bangunan-bangunan bersejarah, bangunan-bangunan ini sudah terlihat dirawat dan mulai di fungsikan kembali. Ada beberapa hal yang dilakukan sebelum memanfaatkan kembali bangunan bersejarah tersebut, antara lain Preservasi, Rehabilitasi, Konservasi, Replikasi, Relokasi, Rekonstruksi dan Revitalisasi. Dari tujuh kegiatan dalam pemanfaatan bangunan bersejarah, Rekonstruksi dan Konservasi mempunyai tingkat ketelitian dan kedetailan pekerjaan paling tinggi. Rekonstruksi yaitu suatu kegiatan penyusunan kembali struktur bangunan yang rusak/runtuh, yang pada umumnya bahan-bahan bangunan yang asli sudah banyak yang hilang. Dalam hal ini kita dapat menggunakan bahan-bahan bangunan yang baru seperti cat warna atau bahan lainnya yang bentuknya harus disesuaikan dengan bangunan aslinya. Konservasi yaitu memelihara dan melindungi tempat-tempat yang indah dan berharga, agar tidak hancur atau berubah sampai batas-batas yang wajar. Menekankan pada penggunaan kembali bangunan lama, agar tidak terlantar. Apakah dengan menghidupkan kembali fungsi lama, ataukah dengan mengubah fungsi bangunan lama dengan fungsi baru yang dibutuhkan.

Rekonstruksi dan konservasi biasanya mengacu pada dokumentasi bangunan tersebut sebelum terjadi perubahan. Pendokumentasian tersebut tidak hanya terbatas untuk mengetahui dimensi geometri bangunan, namun juga terkait dengan seberapa besar perubahan dimensi geometri bangunan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

Pemanfaatan teknologi *Electronic Total Station (ETS)* dan *3D Laser Scanner* memberikan ketelitian sangat tinggi untuk pendokumentasian suatu bangunan bersejarah, namun kedua teknologi ini memerlukan biaya yang sangat mahal. Sehingga diperlukan suatu metode alternatif untuk memperoleh ketelitian yang tinggi dengan biaya yang relatif murah. Metode yang digunakan untuk menekan biaya yang tinggi adalah metode fotogrametri jarak dekat (*Close Range Photogrammetry*).

Metode fotogrametri jarak dekat mempunyai konsep yang sama dengan konsep dasar fotogrametri aerial, yang membedakannya adalah kajian objek yang diteliti. Metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan jika jarak antara objek dengan kamera kurang dari 100 meter. Hasil dari metode fotogrametri jarak dekat tidak terlalu jauh dengan metode *ETS* dan *3D Laser scanner*. Untuk mengolah hasil fotogrametri jarak dekat dapat menggunakan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner V.6*.

Untuk mendukung rencana pelestarian pada bangunan bersejarah dan berkembangnya ilmu fotogrametri, diharapkan aplikasi fotogrametri jarak dekat dapat digunakan untuk pelestarian bangunan bersejarah di Semarang.

### Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Apakah metode fotogrametri jarak dekat (*Close Range Photogrammetry*) dapat menjadi alternatif dalam pendokumentasian bangunan yang selanjutnya digunakan sebagai acuan rekonstruksi dan konservasi.
2. Seberapa besar ketelitian metode fotogrametri jarak dekat jika dibandingkan dengan metode *Electronic Total Station (ETS)* dan pengukuran dengan pita ukur.

### Ruang Lingkup Permasalahan

Ruang lingkup permasalahan dalam penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bangunan bersejarah yang dimaksud adalah bangunan yang berupa candi.
2. Objek yang menjadi penelitian adalah Candi I Candi Gedong Songo di Semarang.
3. Proses kalibrasi kamera menggunakan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner v.6*.
4. Perbandingan ketelitian data ukuran menggunakan data hasil pengukuran *Electronic Total Station (ETS)* dan pengukuran dengan pita ukur.

### Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan metode fotogrametri jarak dekat menggunakan kamera digital non metrik untuk pemodelan bangunan candi gedong songo dan diolah dengan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner*.

2. Analisa ketelitian metode fotogrametri jarak dekat dengan hasil pengukuran *Electronic Total Station (ETS)*.
3. Pembuatan data digital 3D untuk dokumentasi bangunan bersejarah.

### **Manfaat Penelitian**

Dari penelitian tugas akhir ini diharapkan metode fotogrametri jarak dekat dapat dijadikan salah satu alternatif dalam pekerjaan konstruksi bangunan yang bersifat detail.

### **Metodologi Penelitian**

Secara garis besar metode penelitian meliputi beberapa hal berikut ini :

#### **1. Persiapan**

Tahap awal penelitian ini meliputi kegiatan studi literatur, dimana segala sumber referensi yang berhubungan dengan tema penelitian akan dikumpulkan demi mempermudah penyelesaian tugas akhir ini. Tahap lain yang perlu dilakukan adalah survey lokasi dan objek yang diteliti serta persiapan alat-alat yang akan digunakan pada saat dilapangan.

#### **2. Pengumpulan Data**

Tahap penumpukan data merupakan proses lanjutan dari tahap persiapan. Dalam tahap ini, segala data yang telah direncanakan dikumpulkan untuk nantinya akan diolah. Data yang dimaksud adalah foto objek, titik kontrol dan titik sekutu objek yang diteliti. Titik kontrol dilapangan meliputi pengukuran dengan menggunakan *Electronic Total Station* dan pita ukur.

#### **3. Pengolahan Data**

Pengolahan data dimulai dari marking dan referencing yang dilakukan dengan menggunakan software *PhotoModeler Scanner V.6* dan selanjutnya proses permodelan objek menjadi 3D dan memasukan titik koordinat. Titik koordinat terdiri dari titik kontrol dan titik sekutu bangunan. Untuk proses editing dilakukan pada software *AutoCAD 2007* sehingga formatnya harus di *export* dalam bentuk *3D Studio (.3ds)*.

#### **4. Analisa dan Kesimpulan**

Pada hasil akhir ini dilakukan analisa tentang ketelitian penggunaan metode fotogrametri jarak dekat, perbandingan ketelitian menggunakan hasil ukuran *Electronic Total Station (ETS)* dan pita ukur.

## **DASAR TEORI**

### **Bangunan Bersejarah**

Banyak bangunan yang disebut-sebut sebagai bangunan bersejarah, namun pada umumnya bangunan bersejarah yaitu bangunan yang sudah berumur 50 tahun atau lebih yang kekunoannya (*antiquity*) dan keasliannya telah teruji (Kunto, 1931).

### **Pelestarian Bangunan Bersejarah**

Sesuai dengan PP nomer 10 tahun 1993 tentang pelaksanaan UU no.5 tahun 1992, dalam pasal 23 ayat (1) menyatakan bahwa "Perlindungan dan pemeliharaan benda cagar budaya dilakukan dengan cara penyelamatan, pengamanan, perawatan dan pemugaran". Dalam hal ini pelestarian bangunan bersejarah itu meliputi Preservasi, Rehabilitasi, Konservasi, Replikasi, Relokasi, Rekonstruksi, Revitalisasi .

### **Fotogrametri Jarak Dekat**

Fotogrametri adalah suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan atau pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik. (Santoso, B, 2001.)

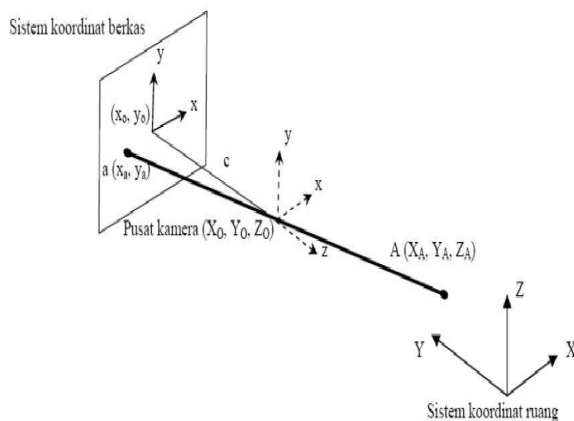
Fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*) merupakan cabang dari ilmu fotogrametri, yang membedakannya adalah posisi kamera dengan objek tersebut. Jika fotogrametri merekam objek di bumi dengan posisi kamera di udara maka fotogrametri jarak dekat merekam objek di bumi dengan posisi kamera di bumi. Fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*) muncul pada saat teknik ini digunakan untuk obyek yang dipotret dengan jarak kurang dari 100 meter dan posisi kamera dekat dengan obyek tersebut (Atkinson, 1996), namun ada penelitian lain yang menyatakan bahwa fotogrametri jarak dekat dapat digunakan untuk pengambilan foto yang memiliki jarak antara objek dengan kamera tidak melebihi 300 meter (Anuar & Zulkarnaini, 1998.).

Hasil dari foto dilapangan dapat diproses dengan menggunakan komputer untuk membuat bentuk 3D dari objek yang diteliti dengan menggunakan perangkat lunak fotogrametri jarak dekat. Selanjutnya format tersebut diubah menjadi CAD dan dilakukan pemberian titik-titik kordinat dari hasil

pengukuran menggunakan *Electronic Total Station (ETS)*.

**Prinsip Dasar Fotogrametri Jarak Dekat**

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 sangat dikenal dan sangat penting, yang disebut persamaan kolinier (*collinearity equation*) (Soeta'at, 1994). Pada teknik fotogrametri jarak dekat pengukuran terhadap suatu objek dilakukan terhadap hasil perekaman dari beberapa alat sensor. Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film. Kondisi dimana titik objek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kesegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas.



**Gambar 1.** Prinsip kondisi kesegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas

**Kalibrasi Kamera**

Untuk keperluan fotogrametri teliti posisi tanda tepi, bersama-sama dengan titik tengah foto, panjang fokus dan distorsi lensa harus ditentukan dengan cara kalibrasi kamera. Ada dua jenis distorsi lensa, yaitu distorsi yang bersifat radial dan tangensial. Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya, sehingga memberikan ketelitian pengukuran yang tidak baik, namun tidak mempengaruhi kualitas ketajaman citra yang dihasilkan.

**Pemodelan Tiga Dimensi**

Dari dua buah foto yang bertampalan yang dihasilkan dari dua posisi pemotretan yang berbeda, akan dapat dibentuk sebuah model tiga dimensi. Model ini direpresentasikan oleh titik-titik tiga dimensi (x, y, z). Untuk dapat membentuk model tiga dimensi tersebut diperlukan suatu proses hitungan fotogrametri seperti orientasi dalam, orientasi luar, dan orientasi absolut. Fotogrametri jarak dekat merupakan teknik untuk mendapatkan informasi geometri seperti posisi, ukuran dan bentuk dari suatu obyek yang telah diambil gambarnya dalam bentuk foto.

Untuk mendapatkan restitusi dari titik tiga dimensi, dibutuhkan perpotongan antara dua sinar (dari foto ke titik obyek) atau satu sinar dengan permukaan yang termasuk titik ini. Jika obyek terdapat pada lebih dari dua buah foto, titik 3D yang terbentuk dari perpotongan lebih dari dua sinar maka mendapatkan posisinya digunakan solusi dengan persamaan kolinearitas. Untuk beberapa kasus, dua buah foto saja tidak cukup untuk merekonstruksi obyek yang kompleks, sehingga dibutuhkan lebih banyak foto untuk mencakup seluruh bagian obyek (Sukoco, 2003). Penggunaan solusi *bundle* tersebut juga dipengaruhi oleh kamera yang digunakan untuk pengambilan data.

Pada kamera non metrik, perlu dilakukan kalibrasi kamera untuk meningkatkan keakurasian hasil. Dengan kondisi tersebut maka bentuk geometri dari posisi kamera tidak harus melihat dengan sudut pandang paralel dan konfigurasi stereo. Foto dengan berbagai macam posisi dari menyebar, horizontal, vertikal atau miring dapat digunakan. Kombinasi dari kamera yang berbeda dan lensanya dapat dengan mudah dilakukan strategi pada saat pemotretan adalah setiap titik 3D yang ditentukan harus berasal dari perpotongan minimal dua buah sinar dengan sudut perpotongan yang baik (mendekati 90°), sudut tersebut akan menentukan akurasi yang didapat. Pengetahuan tambahan mengenai garis-garis yang sejajar, kedataran permukaan dan obyek yang rektangular dapat ditunjukkan pada proses ini dan akan membantu untuk membuat solusi yang homogen dan kuat dari bentuk geometri obyek. Semua pengukuran dan parameter yang tidak diketahui dihitung dengan perataan kuadrat terkecil.

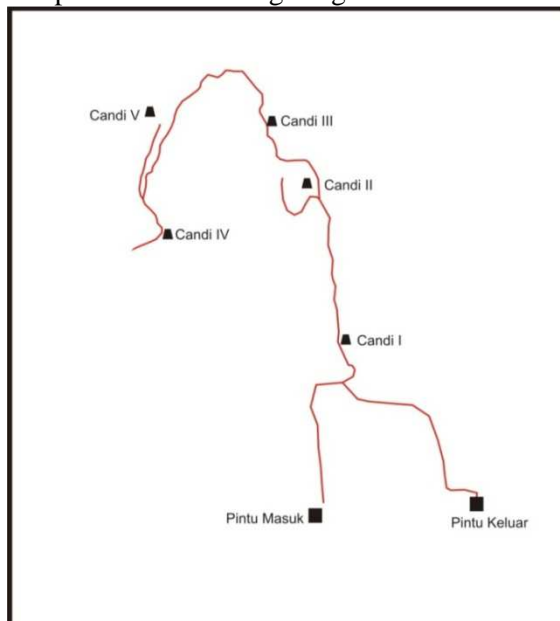
## PELAKSANAAN PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Data dalam penelitian ini adalah Candi I yang terdapat pada kompleks Candi Gedong Songo Kabupaten Semarang. Candi ini berjarak 45 km dari kota Semarang dapat ditempuh dari Kota Semarang dalam waktu 1 jam. Candi Gedong Songo terletak pada posisi 7°12'39.72"S (Latitude) 110°20'32.88" E (Longitude). Wilayah Candi Gedong Songo terletak pada kaki Gunung Ungaran.

Menuju Candi Gedong Songo melewati Jl. Sukoroni ± 1km dari pasar Bandungan menuju arah Ambarawa. Setelah itu masuk melalui Jl. Raya Candi Gedong Songo ± 3,5 km untuk sampai ke kompleks Candi Gedong Songo.

Setelah sampai depan pintu masuk obyek wisata Candi Gedong Songo dilanjutkan dengan berjalan kaki ± 200 meter dari pintu masuk menuju Candi I yang terdapat didalam kompleks Candi Gedong songo.



Gambar 2. Denah kompleks Candi Gedong Songo

### Data Penelitian

Data yang dibutuhkan merupakan data digital dan data pengukuran di lapangan. Berikut data yang dibutuhkan secara terperinci :

Tabel 1. Data Penelitian

No.	DATA	SUMBER DATA	JENIS DATA
1	Data kalibrasi kamera	Pengaturan kamera	Digital
2	Foto Candi I	Survey	Digital

		lapangan	
3	Pengukuran <i>electronic total station</i>	Survey lapangan	Teks dan Digital
4	Pengukuran pita ukur	Survey lapangan	Teks

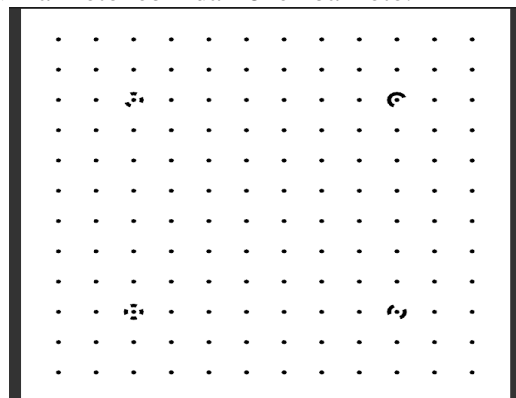
### Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera adalah proses menentukan parameter internal dari sebuah kamera. Parameter internal dibutuhkan untuk dapat merekonstruksi ulang berkas-berkas sinar pada saat pemotretan dan untuk mengetahui besarnya kesalahan sistematik dari sebuah kamera.

Proses kalibrasi kamera menggunakan menu yang sudah ada pada perangkat lunak PhotoModeler Scanner. Prinsip hitungan parameter internal kamera secara analitis menggunakan metode self calibration bundle adjustment terhadap titik target pada bidang kalibrasi.

Bidang kalibrasi yang digunakan berupa titik-titik hitam di atas kertas putih berukuran A0. Bidang kalibrasi merupakan bidang kalibrasi bawaan perangkat lunak PhotoModeler Scanner. Ada dua jenis bidang kalibrasi yaitu yang mempunyai titik 10x10 dan 12x12. Bidang kalibrasi 10x10 digunakan jika jumlah foto tidak melebihi dari 8 lembar foto, sedangkan bidang kalibrasi 12x12 digunakan untuk jumlah foto lebih dari 8 lembar foto.

Dalam penelitian ini menggunakan bidang kalibrasi 12x12 untuk mengantisipasi jika jumlah foto lebih dari 8 lembar foto.



Gambar 3. Bidang Kalibrasi ukuran 12x12

### Pemotretan Obyek

Pemotretan obyek berupa candi I di kompleks Candi Gedong Songo. Pemotretan obyek meliputi sisi depan, sisi belakang, sisi kiri dan kanan bangunan candi I. Jarak antar

stasiun kamera tidak teratur atau bebas dengan syarat sudut pengambilan antara stasiun kamera minimal  $45^{\circ}$ .

### Pengukuran Kerangka Dasar dan Titik Detail

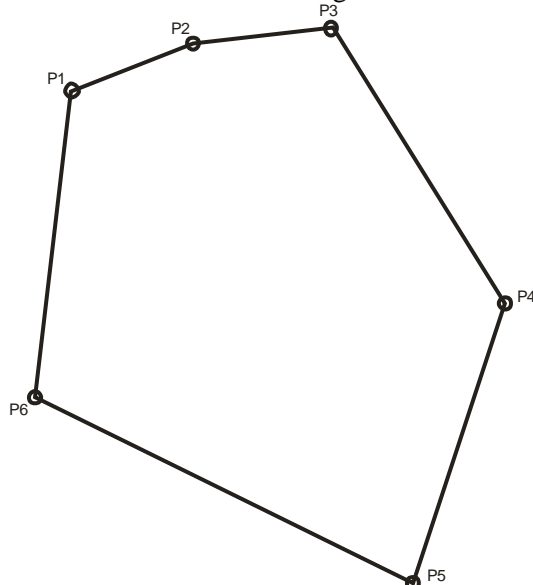
Pekerjaan pada tahap ini yaitu melakukan pengukuran kerangka dasar dan titik detail menggunakan electronic total station. Pengukuran ini digunakan sebagai pengikatan terhadap koordinat tanah.

Kerangka dasar adalah sejumlah titik yang diketahui koordinatnya dalam sistem tertentu yang mempunyai fungsi sebagai pengikat dan pengontrol titik baru (Purworahardjo, 1986). Titik-titik diletakkan menyebar sehingga merata di seluruh daerah yang dipetakan. Kerangka dasar terdiri dari koordinat bidang datar (X,Y) dan yang mempunyai nilai ketinggian (Z).

Cara pengukuran kerangka dasar menggunakan poligon. Berbagai bentuk poligon mudah dibentuk untuk menyesuaikan dengan berbagai bentuk medan pemetaan dan keberadaan titik referensi. Kerangka dasar ini digunakan untuk pengikatan titik detail yang kemudian digunakan untuk proses transformasi koordinat sebangun 3D.

Bentuk poligon yang digunakan dalam pengukuran ini adalah poligon tertutup dengan koordinat lokal. Koordinat sebagai titik awal adalah P1 (5000,000 ; 5000,000 ; 0,000).

Untuk pengukuran titik detail metode yang digunakan adalah dengan cara tachymetri yang dibidik dari titik kerangka dasar, dengan demikian titik-titik detail diikatkan atau direferensikan ke titik kerangka dasar.



Gambar 4. Sketsa Poligon

### Pengukuran Sisi Bangunan

Pengukuran sisi bangunan dilakukan sebagai data validasi model bangunan yang terbentuk. Sisi bangunan diukur menggunakan pita ukur dan electronic total station untuk dibandingkan dengan sisi dari model bangunan. Sisi bangunan yang diukur adalah dimensi bangunan yang meliputi lebar dan panjang bangunan. Pada penelitian ini sisi terluar bagian lantai dan bangunan inti yang diukur sebagai validasi data.

### Pemodelan 3D Menggunakan PhotoModeler Scanner

Perangkat lunak utama pada penelitian ini yang digunakan dalam pembentukan 3D adalah PhotoModeler Scanner, ini adalah perangkat lunak yang dibuat oleh Eos System Inc. yang tergabung dalam Windows Corporation. Kegunaan utama perangkat lunak ini adalah adanya suatu proses yang dinamakan dengan inverse camera, dalam proses tersebut dapat dilakukan pengukuran yang akurat di origin foto yang belum terdefinisi.

Modul PhotoModeler Scanner digunakan untuk membuat sebuah model 3D dari rangkaian foto suatu obyek. Model yang dihasilkan berupa sekumpulan titik-titik tiga dimensi yang mempunyai nilai berupa koordinat kartesian 3D.

### New Project

Saat memulai menggunakan PhotoModeler Scanner maka perangkat lunak ini akan menampilkan Getting Started. Untuk memulai Project baru dapat digunakan pilihan Point-Based Project. Pilihan ini digunakan jika model obyek 3D dibentuk berdasarkan titik-titik pada foto.



Gambar 5. Tampilan Getting Started untuk membuat Project baru

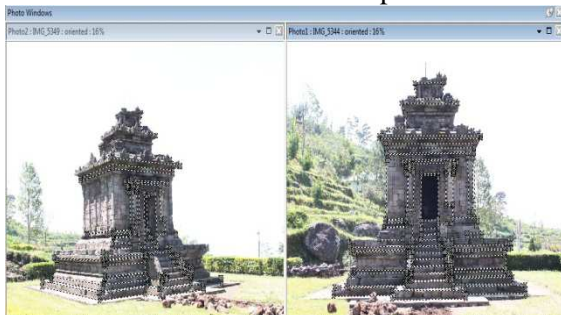
### Marking and Referencing

Pada tahap ini dilakukan menandai titik-titik obyek dan mengidentifikasi titik yang

sama pada foto yang berbeda. Untuk membentuk suatu model 3D diperlukan titik-titik yang sama minimal pada dua buah foto yang berbeda.

Proses *Marking and Referencing* dapat dilakukan melalui dua cara yaitu melakukan *Marking* terlebih dahulu pada satu foto lalu mereferensikannya pada foto yang bertampalan atau melakukan proses *Marking and Referencing* secara bersamaan terhadap dua buah foto atau lebih.

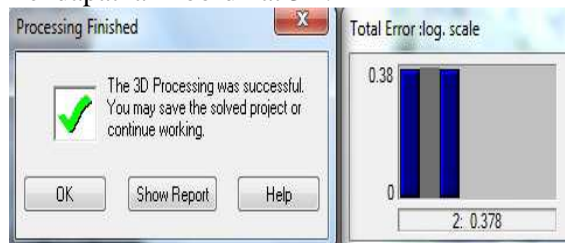
Proses ini akan membuat foto terorientasi. Penentuan titik yang tepat antara dua foto atau lebih sangat mempengaruhi ketelitian model yang dihasilkan. Foto yang sudah terorientasi atau belum dapat diketahui pada toolbar. Foto yang sudah terorientasi akan memberikan informasi *oriented* pada toolbar.



**Gambar 6.** Tampilan proses *marking and referencing*

### Proses Hitungan dan Pembentukan Model 3D Awal

Setelah proses *marking dan referencing* selesai, selanjutnya dilakukan proses pembentukan model 3D awal. Perangkat lunak akan menghitung posisi 3D dari data kamera dan titik marking yang ada pada foto. Perangkat lunak *PhotoModeler Scanner* menggunakan metode *bundle adjustment* untuk mendapatkan koordinat 3D.

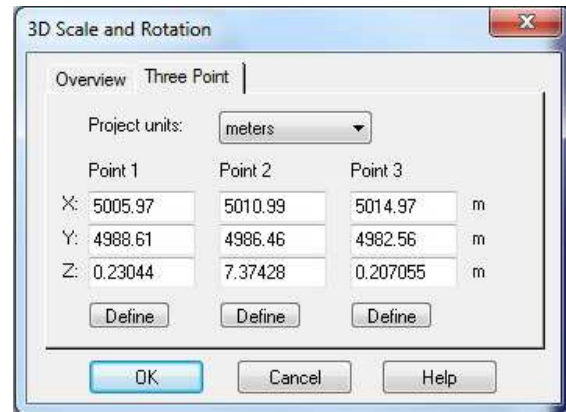


**Gambar 7.** Tampilan setelah proses 3D dilakukan

### Transformasi Koordinat 3D

Koordinat model 3D yang dihasilkan belum memiliki ukuran sebenarnya, oleh karena itu diperlukan transformasi koordinat

untuk mengubahnya menjadi ukuran sebenarnya. Transformasi koordinat ini menggunakan koordinat hasil pengukuran dengan *electronic total station*. Proses transformasi ini dilakukan pada sub menu *Scale/Rotate* kemudian memilih *Three Point* dan memasukkan koordinat tiga titik sekutu yang telah diperoleh.

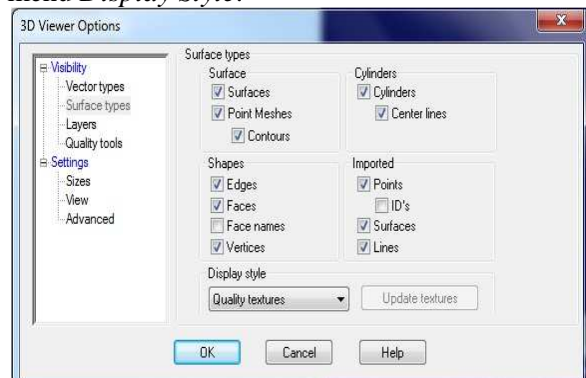


**Gambar 8.** Tampilan sub menu *3D Scale and Rotation*

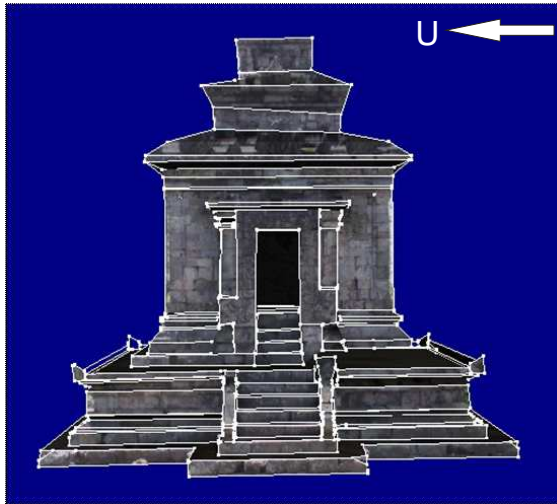
### Visualisasi Model 3D

Untuk visualisasi model tiga dimensi yang terbentuk berupa *shade surface* dan kerangka model, sub menu yang digunakan untuk visualisasi model 3D adalah *Open 3D View* yang terdapat pada menu *View*.

Agar bangunan menyerupai fisik sebenarnya dapat diberikan tekstur. Pemberian tekstur dapat dilakukan pada *3D Viewer Option* dengan memilih *Quality Textures* pada sub menu *Display Style*.



**Gambar 9.** Tampilan *3D Viewer Option*



**Gambar 10.** Tampilan sisi depan model 3D dengan *Quality Texture*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Evaluasi Pengukuran Poligon

Koordinat yang digunakan dalam penelitian ini adalah koordinat lokal dengan koordinat di titik awal X,Y,Z yaitu 5000,000 ; 5000,000 ; 0,000. Poligon yang dibentuk adalah poligon tertutup. Koreksi pada absis (X) 0,0372 meter, koreksi pada ordinat (Y) -0,0098 meter dan koreksi pada ketinggian (Z) -0,0983 meter.

### Evaluasi Hasil Kalibrasi

**Tabel 2.** Hasil kalibrasi kamera Canon EOS 500D

Parameter Orientasi Dalam	Nilai	Deviasi
Panjang Fokus	27.726851 mm	0.004 mm
Xp (posisi titik utama foto)	11.375051 mm	0.003 mm
Yp (posisi titik utama foto)	7.528632 mm	0.004 mm
K1 (Distorsi Radial)	1,290E-01	1.1e-006
K2 (Distorsi Radial)	-2,659E-04	7.7e-009
K3 (Distorsi Radial)	0.000e+000	0.000e+000
P1 (Distorsi Tangensial)	2,562E-02	1.1e-006
P2 (Distorsi Tangensial)	-3,871E-02	1.6e-006
<i>Average Photo Point Coverage</i>		85%

### Analisis Perbandingan Koordinat

Nilai maksimal dari selisih absis adalah 0,184 meter dan nilai minimal sebesar -0,058 meter. Total nilai kesalahan sebesar 1,037 meter dan rata-rata kesalahan sebesar 0,04 meter.

Nilai maksimal dari selisih ordinat adalah 0,055 meter dan nilai minimal sebesar -0,110 meter. Total nilai kesalahan sebesar 0,697 meter dan rata-rata kesalahan sebesar 0,029 meter.

Nilai maksimal dari selisih tinggi adalah 0,093 meter dan nilai minimal sebesar -0,097 meter. Total nilai kesalahan sebesar 0,989 meter dan rata-rata kesalahan sebesar 0,041 meter.

Perbandingan selisih absis , ordinat dan tinggi menggunakan sample sebanyak 24 titik yang tersebar pada semua sisi bangunan. Dari semua selisih tersebut maka diperoleh nilai RMS yaitu sebesar  $\pm 0,087$  meter.

### Analisis Perbandingan Jarak

Analisis perbandingan jarak dilakukan terhadap sisi terluar lantai dasar dan bangunan inti pada Candi I Candi Gedong Songo. Pengukuran tersebut menggunakan pita ukur dan *electronic total station*.

**Tabel 3.** Perbandingan jarak pita ukur dengan model 3D

No. Sisi	Jarak (meter)		Selisih (meter)
	pita ukur	Model	
1	2,65	2,61	0,04
2	1,19	1,21	-0,02
3	2,45	2,46	-0,01
4	7,6	7,53	0,07
5	7,58	7,33	0,25
6	7,61	7,53	0,08
7	2,45	2,45	0,00
8	1,19	1,09	0,10
9	3,96	3,91	0,05
10	3,93	3,86	0,07
11	3,95	3,83	0,12
12	3,92	4,03	-0,11
Total selisih			0,92
Rata-rata Selisih			0,076
RMS			$\pm 0,099$



**Tabel 4.** Perbandingan *Electronic Total Station* dengan model 3D

No. Sisi	Jarak (meter)		Selisih (meter)
	<i>ETS</i>	Model	
1	2,68	2,61	0,07
2	1,19	1,21	-0,02
3	2,44	2,46	-0,02
4	7,66	7,53	0,13
5	7,57	7,33	0,24
6	7,63	7,53	0,10
7	2,43	2,45	-0,02
8	1,11	1,09	0,02
9	3,84	3,91	-0,07
10	3,79	3,86	-0,07
11	3,85	3,83	0,02
12	3,71	4,03	-0,32
Tinggi	7,38	7,39	-0,01
Total selisih			1,11
Rata-rata Selisih			0,085
<i>RMS</i>			$\pm 0,130$

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang pemodelan bangunan dengan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Fotogrametri jarak dekat dengan menggunakan kamera digital non metrik dapat digunakan untuk pemodelan bangunan, namun harus dilakukan kalibrasi kamera terlebih dahulu agar dapat diperoleh ketelitian geometri model 3D yang baik. Metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pendokumentasian bangunan yang digunakan sebagai acuan rekonstruksi dan konservasi.
2. Potensial akurasi pemrosesan model 3D masih sangat rendah yaitu nilai 1 (*Lowest*). Hal ini disebabkan pemotretan antara stasiun kamera tidak memenuhi persyaratan *PhotoModeleer Scanner*. Banyaknya jumlah titik yang hanya bertampalan pada dua buah foto mempengaruhi hasil dari akurasi pemrosesan model 3D. Berdasarkan hasil

analisis perbandingan koordinat menunjukkan bahwa pergeseran titik berikisar antara 0,000 meter hingga 0,228 meter dengan nilai *RMS*  $\pm 0,087$  meter. Sedangkan untuk hasil perbandingan jarak mempunyai dua nilai, untuk perbandingan jarak antara model 3D dengan pengukuran pita ukur memiliki rata-rata selisih 0,076 meter dan nilai *RMS*  $\pm 0,099$  meter. Sedangkan untuk perbandingan jarak antara model 3D dengan *electronic total station* memiliki rata-rata selisih 0,091 meter dan nilai *RMS*  $\pm 0,130$  meter. Hal ini dapat terjadi karena kesalahan dalam meletakkan titik pengukuran dilapangan dengan titik pada model 3D.

### Saran

Beberapa saran yang ingin penulis sampaikan untuk pengembangan ilmu fotogrametri jarak dekat lebih lanjut antara lain :

1. Transformasi koordinat sebaiknya menggunakan metode selain *Three point* yaitu dengan metode *Imported Objects section*.
2. Kalibrasi sebaiknya dilakukan pada bidang datar yang memiliki cahaya cukup agar memiliki hasil yang baik.
3. Hindari posisi pemotretan obyek yang menentang matahari karena dapat menimbulkan efek *flare*.
4. Pemotretan bangunan diatur sedemikian rupa sehingga sisi bangunan dapat terpotret keseluruhan dalam satu *frame*.
5. Proses *Marking and Referencing* pada setiap titik sebaiknya dilakukan lebih dari dua foto agar memiliki hasil akurasi yang tinggi. Karena titik yang hanya pada dua buah foto masih masuk dalam kategori *Weak* walaupun dapat membentuk 3D.
6. Lakukan pemotretan obyek dari tempat yang lebih tinggi untuk menjangkau bagian yang tidak terlihat secara horisontal.
7. Pengukuran dengan menggunakan *Electronic Total Station* sebaiknya menggunakan target berupa stiker reflektor untuk mengurangi kesalahan pada penempatan titik di obyek.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, K.B. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Hanifa, N.R. 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto Focus untuk Pemantauan Deformasi*. Tesis Magister. Bidang Pengutamaan Mitigasi Bencana. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Harinataka, Subaryono dan Heri Octapianus. 2006. *Pemodelan Virtual Bangunan Arkeologi Candi Kelir di Taman Wisata Candi Prambanan Menggunakan Kamera Amatir Digital*. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Kuncoro, A. 2010. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan Bangunan*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Semarang.
- Subiyanto, S. 2007. *Catatan Mata Kuliah Triangulasi Fotogrametri*. Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Soeta'at. 1994. *Diktat Fotogrametri Analitik*. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Tony, W.C.S. 2005. *Development of Land Based Mobile Mapping System Using Global Positioning System And Close Range Photogrammetric Techniques*. Tesis Magister. Universitas Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Widianto, Tj. 1987. *Aplikasi Metoda Fotogrametri Jarak Dekat dalam Penggambaran Kembali Bentuk Geometri Permukaan Badan Pesawat Terbang*. Tesis Magister. Program Geodesi Fakultas Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.