

SKRIPSI

**PEMBUATAN MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMETRY
DALAM SOFTWARE PHOTOMODELER SCANNER
(Studi Kasus : Situs Candi Sumber Awan, Kabupaten Malang)**



Disusun Oleh:
Suparno Eko Prasajo
08.25.043

**JURUSAN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
2014**

SKRIPSI

PENBUATAN MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY
DALAM SOFTWARE PHOTOMODELER SCANNER
(Studi Kasus : Situasi Kondisi Sempit Jalan, Kawasan Perumahan)

Disusun Oleh:
Sugeng Eka Prasaja
08121041

KEJURUSAN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

2014



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

LEMBAR PERSETUJUAN

M I L I K
P E R P U S T A K A A
I N S T I T U T T E K N O L O G I N A S I O N A L
M A L A N G

**PEMBUTAN MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMETRY DALAM
SOFTWARE PHOTOMODELER SCANNER”**
(Studi Kasus : Situs Candi Sumber Awan, Kabupaten Malang)

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai
Gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi S-1
Institut Teknologi Nasional Malang**

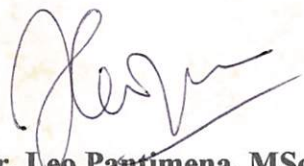
Oleh:
Suparno Eko Prasajo
08.25.043

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


(M. Edwin Tjahjadi, ST, M.Geo.Sc., Ph.D)


(Ir. Leo Pantimena, MSc)



**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1**


(Ir. Agus Darpono, MT)

PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG

CALL No:	No. Brg
	Tanggal : i
	Jumlah :
	Copies :



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

PT. BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI

**PEMBUTAN MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMETRY DALAM SOFTWARE
PHOTOMODELER SCANNER**
(Studi Kasus : Situs Candi Sumber Awan, Kabupaten Malang)

Telah Dipertahankan Dihadapan Panitia Penguji Sidang Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Pada hari : Rabu

Tanggal : 19 Februari 2014

Dan diterima untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Oleh:

Suparno Eko Prasajo

08.25.043

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

(Ir. Agus Darpono, MT)

Sekretaris

(Silvester Sari Sai, ST., MT)

Anggota Penguji

Penguji I

(Ir. Agus Darpono, MT)

Penguji II

(D.K. Sunaryo, ST., MT)

Penguji III

(Ir. Jasmani, M.Kom)

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

REKONSTRUKSI MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY DALAM SOFTWARE
PHOTOMODELER SCANNER
(Studi Kasus : Situs Candi Sumber Jujur Kabupaten Jombang)

Telah Dipertimbangkan Dihadapan Panitia Penguji Sidang Skripsi Jurusan Sastra (S-1)

Pada hari : Rabu

Tanggal : 19 Februari 2014

Dan diterima untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik
(ST).

Oleh:

Suparno Eko Prasjojo

08222043

Panitia Ujian Skripsi

Sekretaris

Ketua

(Silvester Santia ST MT)

(Dr Agus Darmono MT)

Anggota Penguji

Penguji III

Penguji II

Penguji I

(Dr. Ihsanul Hikmah)

(D.K. Suardono ST MT)

(Dr Agus Darmono MT)

**PEMBUATAN MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY DALAM
SOFTWARE PHOTOMODELER SCANNER**

(Studi Kasus :Situs Candi Sumber Awan, Kabupeten Malang)

Suparno Eko Prasajo 08.25.043

Dosen Pembimbing I : M. Edwin Tjahjadi, ST, M.Geom.Sc.,Ph.D

Dosen Pembimbing II: Ir. Leo Pantimena, Msc.

Abstraksi

Fotogrametri jarak dekat (Close Range Photogrammetry) merupakan cabang dari ilmu fotogrametri, fotogrametri jarak dekat merekam objek di bumi dengan posisi kamera di bumi.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat model 3 Dimensi (3D) virtual dari foto kamera digital SLR yang diolah dengan menggunakan software Photomodeler Scanner khususnya metode Dense Surface. Cara pemodelan 3D ini meliputi bagaimana proses pengambilan data foto sampai dengan proses pengolahan data hasil pengambilan foto hingga terbentuknya model 3D. Pengambilan data foto dapat dilakukan dengan kamera digital SLR yang sudah terkalibrasi, Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter internal kamera (IOP) meliputi principal distance (c), titik pusat fidusial foto (x_0, y_0), distorsi lensa ($K1, K2, K3, P1$ and $P2$), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y . kemudian diletakkan diatas kaki kamera (tripod) atau langsung dipegang oleh tangan. Data foto yang diambil untuk dijadikan model 3D tiap sisi-sisi situs candi minimal 2 buah (data multi foto stereo normal maupun stereo konvergen). Hasil dari penelitian berupa model Dimana surface pada sisi-sisi prasasti hampir menyerupai warna aslinya dan ukurannya 3D yang terbentuk menyerupai ukuran pada objek dikarenakan adanya faktor skala yang diperoleh dari pengukuran dari 2 titik kontrol dilapangan.

Kata Kunci : *Photomodeler Scanner, Dense Surface, Kalibrasi, Close Range Photogrammetry.*



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Suparno Eko Prasajo
NIM : 08.25.043
Program Studi : Teknik Geodesi S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul

**PEMBUTAN MODEL ANIMASI 3 DIMENSI VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMETRY DALAM SOFTWARE
PHOTOMODELER SCANNER**

(Studi Kasus : Situs Candi Sumber Awan, Kabupaten Malang)

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip
atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, Maret 2014
Yang membuat pernyataan

Suparno Eko Prasajo
08.25.043

LEMBAR PERSEMBAHAN

Yang Utama Dari Segalanya...

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT. Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kukasihi dan kusayangi.

Ibu dan Bapak Tercinta

Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih yang tiada terhingga kupersembahkan karya kecil ini kepada Ibu dan Bapak yang telah memberikan kasih sayang, segala dukungan, dan cinta kasih yang tiada terhingga yang tiada mungkin dapat kubalas hanya dengan selembar kertas yang bertuliskan kata cinta dan persembahan. Semoga ini menjadi langkah awal untuk membuat Ibu dan Bapak bahagia karna kusadar, selama ini belum bisa berbuat yang lebih. Untuk Ibu dan Bapak yang selalu membuatku termotivasi dan selalu menyirami kasih sayang, selalu mendoakanku, selalu menasehatiku menjadi lebih baik,

Terima Kasih Ibu.... Terima Kasih Bapak...

My Brother's dan Sister

Untuk kakak dan adik-adikku, tiada yang paling mengharukan saat kumpul bersama kalian, walaupun sering bertengkar tapi hal itu selalu menjadi warna yang tak akan bisa tergantikan, terima kasih atas doa dan bantuan kalian selama ini, hanya karya kecil ini yang dapat aq persembahkan. Maaf belum bisa menjadi panutan sentuhnya, tapi aq akan selalu menjadi yang terbaik untuk kalian semua... ammin,...

“e.y”

Tengkiuu.... ☺ ☺ baik-baik ia..
(Belajar yg rajin dan #IngatAMANAHortu.nya)

My Best friend's

“Fajar ario prayoga (Abi jaga Tante dudut baik-baik ia hehee.),
Akhmad merry thamrin (katae mau hidupin “pangeran cinta” lagi jess... hehe ditunggu
info.nya mau daftar jes bisa kan??),
Resa satrio wibowo (terima kasih atas semua bantuanya jess,... mulai dari Kamera
sampai ambil data with Wawan R.)
Wawan rudianto (ndang dimarekne skripsine lee.. ojo ngeklak-ngeklik oods ae bro #ajooor
wkwkwk,), Hendry alpha aswinaldo (ayo ngopi doo., #SuweGKbllass),
Kurnia arizal P. (salam super jess,... Cook Kontol... wkwkwk
#bakalanKangen.DG.speak2.mu), Dian eko nurcahyono (suwe gk nembak jess,...
#culek_matane full cash iki jess.. ☺ ☺.),

Dan temen2 geodesi_08 ALL.,
Helik susilo, Yedi hendriansyah, Yulisa Hilyan, Ophin (kasih semangat buat abang
ondom.. buat dia agar rajin kuliah lagi iaa...)
Zaky tri nur (Ssebenarnya kamu itu rajin dan pintar ndoy.. ayoo WAKE UP NDOY
tunjukkan kamu BISAA BERUBAH)
Bondan P (ayoo.. futsal jes, ak gk tau di jak ee... ☺),
Bambang W & frengky C (duo Aremania #SALAMsatuJIWA...),
Dwi Ari B & Herry (terimakasih atas bantuanya), dan temen2 geodesi_09 ALL
Mas yudhi/ thukidin (semangat mas,)

Ophan M.si , Ayu R. (akhirnya sama-sama juga heheee..) Erna & Ayu (semangat ngerjain
skripsinya), Dhe-dheq/widya & Ikha (jgn online aj hehheee.. ☺ ☺),
Rani, Khusnul, Otta, Awi, Hafidz, Abbas, Cido, Eka .dll (yG rajin k kampus ia hehhe),
Fano Tekler & Syam'un (k kampus fan., jgn berpetualang aj. hehehe),

Makasih semuanya selalu menemani duka n laraku selama di malang ,.. dan maaf kalo

selama di malang saya selalu #UUM (ujung-ujung.nya menyusahkan) Heeee,... ☺ ☺ ☺,

Aem sorry.,

Saya bakalan Missynu,... pada kalian semua ☹..☹ ☹...☹ ☹ ☹....

Dosen Pembimbing Tugas Akhirku...

Bapak M.Edwin Tjahjadi, ST, M.Geom.Sc.,Ph.D dan Bapak Ir. Leo Pantimena, Msc selaku dosen pembimbing tugas akhir saya, terima kasih banyak pak... saya sudah dibantu selama ini, sudah dinasehati, sudah diajari, saya tidak akan lupa atas bantuan dan kesabaran dari bapak.

Terima kasih banyak pak....,

Seluruh Dosen Pengajar di Fakultas Teknik Geodesi ITN Malang

Terima kasih banyak untuk semua ilmu, didikan dan pengalaman yg sangat berarti yang telah kalian berikan kepada kami...

Semua Teman2 Geodesi ITN Malang

Serta semua pihak yg sudah membantu selama penyelesaian Tugas Akhir ini...

."Jangan takut ayo keluar ., Hadapi dunia dengan menari #slank"

Suparno Eko Prasajo

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Shalawat beserta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman,

Ammin.,

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat Memperoleh gelar Sarjana pada jurusan teknik geodesi itn malang, Fakultas teknik sipil dan perencanaan. Judul yang penulis ajukan adalah “*Pembuatan Model Animasi 3 Dimensi Virtual Dengan Teknik Close Range Photogrammetry Dalam Software Photomodeler Scanner*”.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaika terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Dr. Ir. Kustamar, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. Agus Darpono, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang dan Dosen Penguji I.

4. Bapak M. Edwin Tjahjadi, ST, M.Geo.Sc.,Ph.D Dosen Pembimbing I
5. Bapak Ir. Leo Pantimena, MSc selaku Dosen Pembimbing II
6. Bapak Ir. D.K. Sunaryo, MT. selaku dosen Penguji II.
7. Bapak Ir. Jasmani, M.Kom selaku Dosen Penguji III
8. Segenap dosen, staff pengajar dan *recording* Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
9. Bapak, Ibu, dan Saudara-saudaraku, yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa.
10. Teman-teman ITN yang selalu memberikan semangat dan doa.
11. Semua pihak yang telah membantu peneliti yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Pada akhirnya kami selaku penyusun hanya bisa berharap agar laporan skripsi ini nantinya dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya baik bagi diri saya pribadi maupun seluruh rekan mahasiswa geodesi sebagai bahan refrensi dalam kegiatan perkuliahan.

Malang, april 2014

Penyusun

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAKSI.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
 BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah / Ruang Lingkup	2
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
I.6 Tinjauan Pustaka	3
 BAB II LANDASAN TEORI	
II.1 Bngunan Bersejarah.....	5
II.2 Pelestarian Bangunan Bersejarah	5
II.3 Geometri Kamera.....	6
II.4 Parameter Kamera.....	7
II.4.1 Parameter Interinsik (Interior Orientation).....	7
II.4.2 Parameter Ekstrinsik (Exterior Orientation).....	8
II.5 Pengertian Fotogrametri	13
II.6 Prinsip Dasar Close Range Photogrammetry	14

II.7 Estimasi Hitungan Perataan Dengan LSE Dan Bundle Adjustment.....	18
II.8 Kalibrasi Kamera	20
II.9 Metode Pengambilan Gambar	22
II.10 Pembuatan Model 3D	23
II.11 Metode Pengolahan Animasi Video 3D	24

BAB III METODE PENELITIAN

III.1 Persiapan Penelitian	26
III.1.1 Lokasi Penelitian	26
III.1.2 Alat dan Bahan Penelitian	27
III.1.2.1 Alat Penunjang Penelitian	27
III.1.2.2 Bahan Penelitian.....	28
III.1.3 Peralatan Pendukung	28
III.2 Pelaksanaan Penelitian	28
III.2.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
III.2.2 Pemotretan Template Kalibrasi	32
III.2.3 Kalibrasi Kamera.....	33
III.2.3.1 Proses Kalibrasi kamera Pada Photomodeler.....	34
III.2.4 Pemotretan Obyek 3D (Candi)	39
III.2.5 Pembuatan Model 3D dengan menggunakan Photomodeler	42
III.2.5.1 Pembuatan Model 3D Dengan Dense Surface	42
III.2.5.2 Pembuatan Video Animasi 3d Pada <i>Software PMS</i>	53

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Parameter Kalibrasi Kamera	55
IV.2 <i>Relatif Orientasi</i>	58
IV.3 <i>Resection</i>	59
IV.4 <i>Intersection</i>	59
IV.5 <i>Bundle Adjustment</i>	60
IV.6 <i>Meshing Dan Texturing Surface</i>	61
IV.7 Pengecekan Dimensi Model 3D	63
IV.8 Hasil <i>Ekport Model 3D Viewer Animation</i>	65
IV.9 Kendala Yang Dihadapi Selama Penelitian	66

IV.9.1 Kalibrasi Kamera	66
IV.9.2 Pemasangan Titik Kontrol	66
IV.9.3 Pengambilan Data Lapangan.....	67
IV.9.4 <i>Proses Create Dense Surface</i>	70
IV.9.5 Hasil <i>Create Dense Surface</i> 12 Foto dan 16 Foto	71
IV.9.5.1 Hasil <i>Create Dense Surface</i> 12 Foto	72
IV.9.5.2 Hasil <i>Create Dense Surface</i> 16 Foto	72

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	74
V.2 Saran	75

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 : Nilai Parameter Hasil Kalibrasi	57
Tabel 4.2 : Nilai Koordinat Dari Proses Bundle Adjustment.....	61
Tabel 4.3 : Hasil Ukuran Panjang Objek Untuk Skala	63
Tabel 4.4 : Data Ukuran Dan Dimensi Model 3D.....	64

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 : Konfigurasi stereo-normal (a) konfigurasi semi stereo-normal (b)Konfigurasi stereo-konvergen (c) (Konecny, 2003)..	6
Gambar 2.2 : Interior orientasi kamera (Geosystem, 2006a)	7
Gambar 2.3 : Rotasi pada sumbu x sebesar ω	9
Gambar 2.4 : Rotasi sumbu y sebesar ϕ	10
Gambar 2.5 : Rotasi sumbu z sebesar κ	10
Gambar 2.6 : Kondisi kolinear atau Kondisi kesegarisan, Atkinson,1996, dan Suwardhi,2007	15
Gambar 2.7 : Interseksi Spasial (Berdasarkan Leitch, 2002)	17
Gambar 2.8 : Reseksi Spasial	18
Gambar 2.9 : Ilustrasi Distorsi Lensa Dan Tidak Orthogonalnya, Pullivelli, ..	22
Gambar 3.0 : Lokasi Penelitian	26
Gambar 3.1 : Diagram Alir Penelitian	30
Gambar 3.2 : Data foto untuk kalibrasi kamera	33
Gambar 3.3 : Template Calibration	34
Gambar 3.4 : Menu Getting started	35
Gambar 3.5 : menu New Project Wizard dan Automatic Camera Calibration	36
Gambar 3.6 : Tampilan execute calibration	36
Gambar 3.7 : Tampilan hasil execute calibration.....	37
Gambar 3.8 : Tampilan hasil Project Status Report.....	37
Gambar 3.9 : Tampilan Add Camera To Library	38
Gambar 3.10 : Ilustrasi pengambilan data.....	40
Gambar 3.11 : Foto salah satu sisi Candi	40
Gambar 3.12 : Pemasangan titik control	41
Gambar 3.13 : Menu dense surface	42
Gambar 3.14 : Langkah awal pembuatan model 3D	44
Gambar 3.15 : Idealize	45

Gambar 3.16 : Orientasi	46
Gambar 3.17 : Referencing.....	47
Gambar 3.18 : 3D view hasil bundle adjustment	48
Gambar 3.19 : Penyekalaan.....	49
Gambar 3.20 : Pointmesh hasil dense surface	49
Gambar 3.21 : Kotak dialog pointmesh options.....	50
Gambar 3.22 : Model 3D dari pointmesh.....	52
Gambar 3.23 : 3D Viewer Animation	53
Gambar 3.24 : Pembuatan keyframe	53
Gambar 3.25 : Tampilan Hasil Create Video	54
Gambar 4.1 : Data foto Nikon D40 untuk kalibrasi	56
Gambar 4.2 : Parameter hasil kalibrasi kamera.....	56
Gambar 4.3 : Foto hasil idealize.....	57
Gambar 4.4 : Proses Relatif Orientasi (Proses Referencing)	58
Gambar 4.5 : Proses Resection 10 foto	59
Gambar 4.6 : Proses Intersection Complete	60
Gambar 4.7 : Model 3D Candi Sumberawan (A). PointMesh (B). Mesh Point Cloud dan Texture.....	62
Gambar 4.8 : Model 3D Candi Sumberawan	62
Gambar 4.9 : Model 3Dimensi terskalakan dan Cek Dimensi	63
Gambar 4.10 : Hasil ekport model 3D kedalam format file *.Avi.....	64
Gambar 4.11 : Pemasangan titik control	66
Gambar 4.12 : Pemotretan Candi Sumber Awan tiap sisi.....	67
Gambar 4.13 : Ilustrasi pengambilan data.....	68
Gambar 4.14 : Tampilan <i>DSM Option</i>	70
Gambar 4.15 : Tampilan <i>Meshing Option</i>	71
Gambar 4.16 : Tampilan hasil <i>create dense surface</i> 12 foto.....	72
Gambar 4.17 : Tampilan hasil <i>create dense surface</i> 16 foto.....	73
Gambar 4.18 : Tampilan <i>error extraction eigenfunctions</i>	73

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

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. Malang 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 (Akhmad, 2012).

Banyak bangunan di Indonesia yang telah memiliki model 3D, namun belum menyerupai bentuk yang sebenarnya. Dengan adanya teknologi *Close Range Fotogrametri* ini diharapkan mampu membantu mempresentasikan model 3D secara nyata (*real*) khususnya Candi Sumber Awan di Kabupaten Malang tanpa harus kontak langsung dengan objek, yang mana pengambilan datanya dilakukan dengan menggunakan kamera, jarak antara objek dengan kamera kurang dari 100 meter. Hasil pemotretan selanjutnya diolah menggunakan *software* Photomodeler khususnya dengan metode *Dense Surface* sehingga menghasilkan model 3D virtual dalam bentuk digital.

Perkembangan teknologi dan komputer membuat teknik pembuatan animasi 3D semakin berkembang dan maju pesat. Animasi 3D adalah pengembangan dari animasi 2D. Dengan animasi 3D, karakter yang diperlihatkan semakin hidup dan nyata, mendekati wujud bentuk aslinya.

Model animasi 3D suatu objek nyata, dapat disajikan secara virtual yang dapat dilihat melalui suatu layar dengan bantuan perangkat komputer sehingga pemodelan suatu objek dapat dilakukan secara mudah dan dengan biaya yang murah. Banyak bidang yang memerlukan pemodelan objek virtual 3D ini, misalnya pemodelan organ tubuh, yang bermanfaat dalam dunia kedokteran, pemodelan bangunan, pemodelan produk yang akan dijual, dan lain sebagainya.

I.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah;

1. Bagaimana proses pengambilan data foto dengan menggunakan teknik Close Range Photogrametry.
2. Bagaimana proses pengolahan data hasil pemotretan hingga terbentuknya model animasi 3D Candi Sumber Awan dengan menggunakan *Software PhotoModeler Scanner V.6* khususnya metode *Dense Surface*.

I.3 Batasan Masalah / Ruang Lingkup

Adapun batasan masalah dalam tugas penelitian ini yaitu pembuatan model animasi 3D *virtual* Candi Sumber Awan dari multi foto konvergen dengan *software PhotoModeler Scanner V.6* khususnya metode *Dense Surface*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan tugas akhir ini adalah pembuatan model animasi 3D *virtual* dari foto kamera digital SLR yang diolah dengan menggunakan *software Photomodeler Scanner v.6*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan masyarakat luas mengetahui bangunan prasejarah candi sumber awan di kabupaten malang. Dan dapat digunakan untuk dokumentasi bangunan bersejarah sebelum terjadi perubahan dimensi geometri bangunan.

1.6 Tinjauan Pustaka

Fedak (2001) memanfaatkan teknik fotogrametri jarak dekat dengan kamera metrik yang dikombinasi dengan Total Station untuk kontrol kualitas produksi kapal laut. Ketelitian posisi yang diperoleh mencapai fraksi 1:10.000, sehingga membuktikan bahwa teknik fotogrametri jarak dekat dapat dimanfaatkan untuk pengukuran teliti industri. Zapp dan Nearing (2005) memodelkan erosi tanah dengan membentuk DTM (*Digital Terrain Model*) yang diperoleh dengan proses fotogrametri jarak dekat. Chandler et. al (2005) melakukan kajian 3 jenis kamera non metrik digital untuk aplikasi pembuatan DSM (*Digital Surface Model*) menggunakan teknik fotogrametri jarak dekat.

Aplikasi fotogrametri jarak dekat untuk keperluan arsitektur dan pemodelan bangunan arkeolog telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Rottensteiner et. al

(2002) memodelkan bangunan kuno Zurich, Austria. Habib, et. al (2004) menggunakan jenis kamera non metrik yang terkalibrasi untuk membuat model 3D bangunan bersejarah di Calgary, Kanada. Untuk kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan teknik garis lurus, yang mana dinyatakan lebih sederhana dan memiliki kesegaran yang lebih baik daripada teknik konvensional. Ioannidis, et. al (2006) menggunakan teknik fotogrametri jarak dekat yang murah dalam memodelkan bangunan kultural Yunani.

Perkembangan teknologi dan komputer membuat teknik pembuatan animasi 3D semakin berkembang dan maju pesat. Animasi 3D adalah pengembangan dari animasi 2D. Dengan animasi 3D, karakter yang diperlihatkan semakin hidup dan nyata, mendekati wujud manusia aslinya. Semenjak *Toy Story* buatan *Disney (Pixar Studio)*, maka berlomba-lombalah studio film dunia memproduksi film sejenis. Bermunculanlah, *Bugs Life*, *AntZ*, *Dinosaurs*, *Final Fantasy*, *Toy Story 2*, *Monster Inc.*, hingga *Finding Nemo*, *The Incredible*, *Shark Tale*. *Cars*, *Valian*. Kesemuanya itu biasa juga disebut dengan animasi 3D atau CGI (Computer Generated Imagery). (CGI, 2013).

BAB II

LANDASAN TEORI

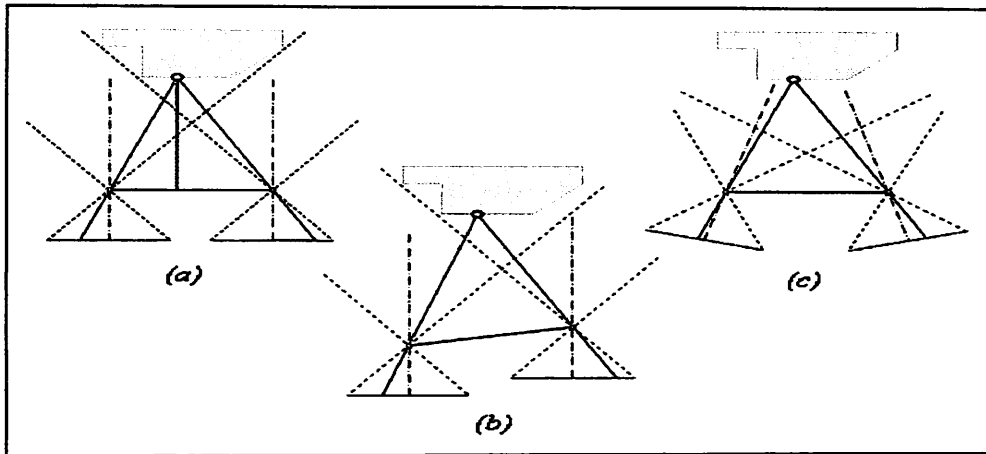
II.1 Bangunan Bersejarah

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. (Affandi, 2004).

II.2 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. (Akhmad, 2012).

Dalam proses rekonstruksi objek yang terdapat pada ruang tiga-dimensi menggunakan teknik fotogrametri, dibutuhkan minimal dua buah foto yang bertampalan atau foto stereo (*Mikhail et al., 2001; Wolf & Dewitt, 2000*). Foto stereo ini dapat dihasilkan menggunakan kamera tunggal maupun kamera stereo. Sehingga, berbagai macam konfigurasi foto stereo dapat dihasilkan, diantaranya stereo normal maupun stereo konvergen. Sebagai ilustrasi, jenis stereo tersebut ditampilkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1: Konfigurasi stereo-normal (a) konfigurasi semi stereo-normal (b) Konfigurasi stereo-konvergen (c) (Konecny, 2003)

Selain konfigurasi pemotretan, beberapa kondisi yang harus dipenuhi untuk merekonstruksi objek tiga-dimensi diantaranya adalah pemilihan persamaan yang sesuai dengan data observasi yang digunakan, parameter yang akan dicari, parameter yang diketahui (*Mikhail et al., 2001*) dan kualitas kamera yang digunakan. Untuk lebih jelasnya, kondisi yang harus dipenuhi akan dijelaskan pada bab II ini.

II.3 Geometri Kamera

Kamera merupakan peralatan utama dalam proses pengukuran bentuk, panjang, serta luasan suatu objek menggunakan teknik fotogrametri (*Wolf, 1993*). Sehingga pemilihan kamera haruslah dipikirkan dengan baik agar didapat gambaran suatu objek yang jelas dan tajam. Seiring perkembangan teknologi, kamera telah mengalami revolusi bentuk dan kegunaan yang sangat pesat. Berawal dari sebuah kotak kecil dengan lubang disalah satu sisi (kamera lubang),

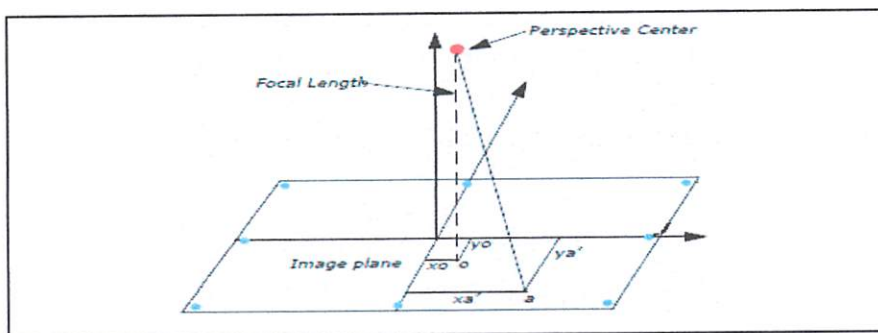
hingga menjadi sebuah kamera yang terbentuk dari berbagai susunan lensa yang cukup rumit dan menghasilkan gambar dalam bentuk digital.

II.4 Parameter Kamera

Dalam fotogrametri maupun komputer vision, terdapat dua parameter penting yang digunakan dalam berbagai persamaan untuk merekonstruksi objek tiga-dimensi menggunakan fotografi (Geosystem, 2006a;Trucco & Verri, 1998). Parameter tersebut terdiri dari parameter interinsik (*Interior Orientation*) dan parameter ekstrinsik (*Exterior Orientation*). Parameter interinsik biasanya dipakai sebagai parameter untuk mendefinisikan nilai geometri dari kamera, sedangkan parameter ekstrinsik digunakan untuk menjelaskan hubungan secara geometri posisi kamera dan objek dalam suatu sistem koordinat referensi.

II.4.1 Parameter Interinsik (*Interior Orientation*)

Parameter interinsik merupakan parameter yang mendefinisikan geometri dari sensor kamera pada saat melakukan pengambilan foto. Parameter interinsik kamera ini terdiri dari tiga parameter pokok yaitu C atau f yang merupakan panjang fokus dan dua parameter *principle point* (x_0, y_0) .



Gambar 2.2 : Interior orientasi kamera (Geosystem, 2006a)

Parameter *principle point* secara matematika dapat didefinisikan sebagai perpotongan garis tegak lurus yang melalui *perspective center* ke bidang foto. Panjang dari *principle point* ke *perspective center* disebut sebagai panjang fokus (Wang, 1990).

Pada umumnya parameter ini juga dapat dikatakan sebagai parameter transformasi, dimana pusat sistem koordinat terdapat pada *principle point* (Geosystem, 2006a). Persamaan transformasi ini dapat dituliskan dalam persamaan matematika sebagai berikut (Fraser, 2006b) :

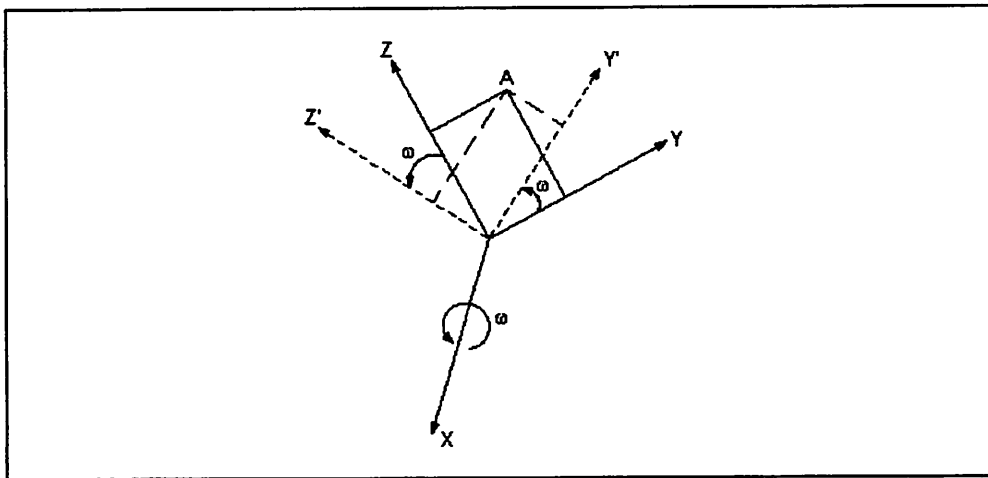
$$\begin{vmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -f \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & -y_0 \\ 0 & 0 & -f \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \\ 1 \end{vmatrix} \quad (2.1)$$

II.4.2 Parameter Ekstrinsik (Exterior Orientation)

Parameter ekstrinsik atau *exterior orientation* merupakan parameter posisi dan orientasi sudut kamera pada saat pengambilan foto. Parameter posisi kamera didefinisikan dalam ruang tiga-dimensi yang merupakan posisi dari *perspektif center* (pusat kamera) X_o, Y_o, Z_o . Sedangkan parameter orientasi sudut berfungsi sebagai penghubung antara sistem koordinat kamera (x, y, z) dengan sistem koordinat referensi (X, Y, Z) . Sesuai dengan (Elias, 2007; Fraser, 2006b; Mikhail et al., 2001; Shih, 1994; Wolf & Dewitt, 2000) orientasi sudut dapat didefinisikan dalam sistem rotasi ω, ϕ, κ (*omega, phi, kappa*) atau t, α, s (*tilt, azimuth, swing*).

Dari masing-masing sistem rotasi, dapat dibangun sebuah matrik rotasi yang digunakan untuk menghubungkan kedua sistem koordinat. Sebagai

contoh, akan dijelaskan proses penurunan sebuah persamaan pada matrik rotasi dalam sudut rotasi ω untuk rotasi sumbu x , ϕ untuk rotasi sumbu y dan κ sebagai rotasi sumbu z . Dari ketiga sudut diatas didefinisikan dalam sistem rotasi tangan kanan, dimana apabila berlawanan dengan putaran arah jarum jam akan bernilai negatif dan sebaliknya.



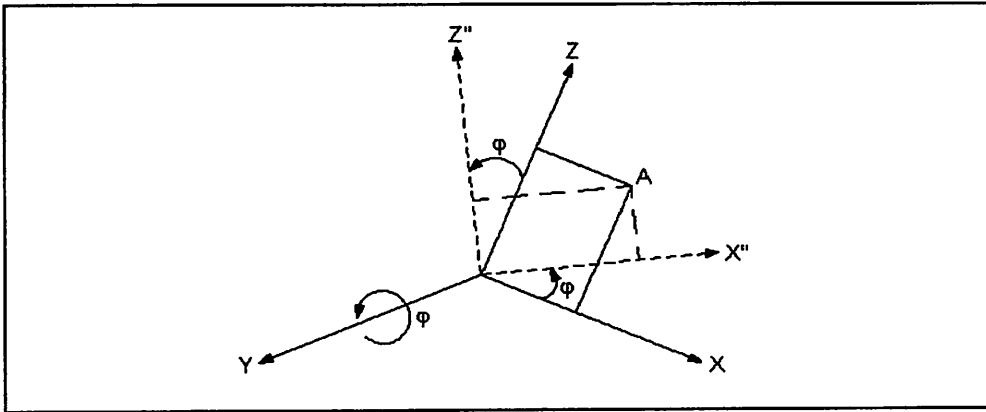
Gambar 2.3 : Rotasi pada sumbu x sebesar ω

Dari gambar diatas, sumbu x positif diputar searah jarum jam, sehingga posisi titik A dalam sistem koordinat yang terotasi dapat ditulis dalam sebuah persamaan.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = R_{\omega} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dimana parameter R_{ω} didefinisikan sebagai :

$$R_{\omega} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \quad (2.3)$$



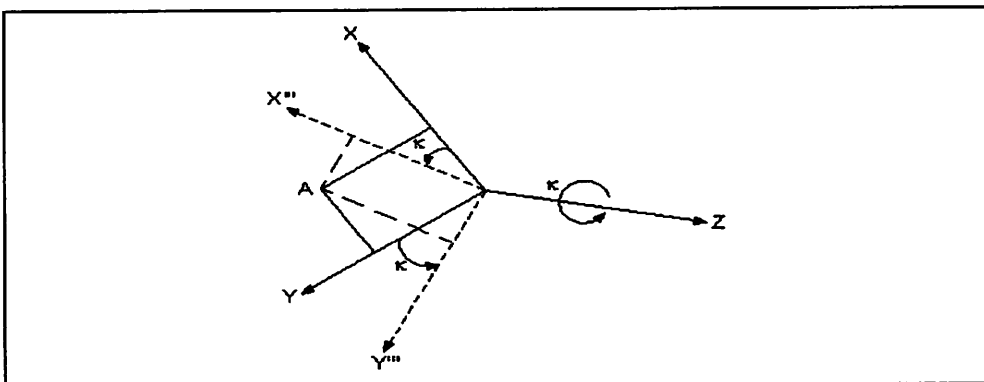
Gambar 2.4 : Rotasi sumbu y sebesar φ

Selanjutnya, dilakukan rotasi terhadap sumbu y positif dengan arah rotasi positif searah dengan jarum jam seperti pada *gambar 2.4*. Dari hasil rotasi didapat nilai posisi titik A dalam sistem koordinat terotasi sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} X'' \\ Y'' \\ Z'' \end{bmatrix} = R_{\varphi} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dengan parameter R_{φ} didapat dari persamaan :

$$R_{\varphi} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (2.5)$$



Gambar 2.5 : Rotasi sumbu z sebesar κ

Dan yang terakhir, sumbu positif z dirotasi positif searah jarum jam, sebagaimana diilustrasikan pada *gambar 2.5* diatas. Sehingga posisi titik *A* pada sistem rotasi sumbu z dinyatakan dalam sebuah persamaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} X''' \\ Y''' \\ Z''' \end{bmatrix} = R_{\kappa} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Dimana parameter R_{κ} didefinisikan sebagai :

$$R_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dari perkalian $R_{\omega}R_{\varphi}R_{\kappa}$ yang merupakan matrik rotasi dari parameter ω, φ dan κ didapat nilai matrik rotasi secara utuh sebagai berikut (*Cooper & Robson, 2001*) :

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \kappa & \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\ -\cos \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\ \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \omega \cos \varphi \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

atau

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Dan apabila nilai matrik rotasi R telah diketahui, parameter sudut rotasi berupa ω, φ dan κ dapat ditentukan pula dengan menggunakan hubungan sebagai berikut (*Slabaugh, 2004; Wolf, 1993*) :

$$\sin \varphi = r_{31} \quad ; \quad \tan \omega = -r_{32}/r_{33} \quad ; \quad \tan \kappa = -r_{21}/r_{11} \quad (2.10)$$

Pada dasarnya, matrik rotasi merupakan matrik ortogonal. Kondisi ini dapat dibuktikan dengan melakukan perkalian antara matrik tersebut dengan nilai transposnya sehingga akan menghasilkan sebuah matrik identitas (*Stefanovic, 1973;Thompson, 1959*) :

$$R^T R = R R^T = I \quad (2.11)$$

Kondisi keortogonalan matrik rotasi dapat dibuktikan juga dengan cara melakukan *invers* terhadap matrik tersebut. Apabila nilai *invers* dari matrik tersebut sama dengan nilai transposnya, maka matrik tersebut dapat dikatakan ortogonal sebagaimana yang dikemukakan oleh *Cooper & Robson, 2001* sebagai berikut :

$$R^{-1} = R^T \quad (2.12)$$

Matrik rotasi dapat pula dibangun dengan menggunakan sistem rotasi t, α, s (*tilt, azimuth, swing*) sebagaimana yang telah dijelaskan diatas dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R = \begin{vmatrix} -\cos \alpha \cos s - \sin \alpha \cos t \sin s & \sin \alpha \cos s - \cos \alpha \cos t \sin s & -\sin t \sin s \\ \cos \alpha \sin s - \sin \alpha \cos t \cos s & -\sin \alpha \sin s - \cos \alpha \cos t \cos s & -\sin t \cos s \\ -\sin \alpha \sin t & -\cos \alpha \sin t & \cos t \end{vmatrix} \quad (2.13)$$

Atau dengan menggunakan tiga parameter independent yaitu a, b dan c sebagai element untuk membentuk matrik rotasi *Rodrigues* sebagai berikut (*Faig, 1984*) :

$$R = \Delta^{-1} \begin{vmatrix} 1 + \frac{1}{4}(a^2 - b^2 - c^2) & -c + \frac{1}{2}ab & b + \frac{1}{2}ac \\ c + \frac{1}{2}ba & 1 + \frac{1}{4}(-a^2 + b^2 - c^2) & -a + \frac{1}{2}bc \\ -b + \frac{1}{2}ca & a + \frac{1}{2}cb & 1 + \frac{1}{4}(-a^2 - b^2 + c^2) \end{vmatrix} \quad (2.14)$$

Dimana $\Delta = 1 + \frac{1}{4}(a^2 + b^2 + c^2)$.

Masih terdapat dua persamaan lainnya untuk membentuk suatu matrik rotasi yaitu matrik *Pope-Hinsken* yang telah di aplikasikan oleh *Zheng & Wang, (1992)* dalam proses reseksi dan matrik *Quaternion* yang pertama kali dikenalkan oleh *Hamilton (1983)* dan telah banyak digunakan dalam aplikasi komputer vision maupun fotogrametri.

II.5 Pengertian Fotogrametri

Fotogrametri memiliki berbagai definisi yang diberikan oleh beberapa pakar fotogrametri. Definisi fotogrametri yang paling populer digunakan adalah difinisi yang diberikan oleh *Salma (1980)* yang mana fotogrametri didefinisikan sebagai seni, dan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang benda benda fisik dan lingkungan melalui beberapa proses. Proses tersebut meliputi pencatatan, pengukuran, menafsirkan gambar foto, merekam pola radiasi gelombang elektro magnetik, dan fenomena lainnya.

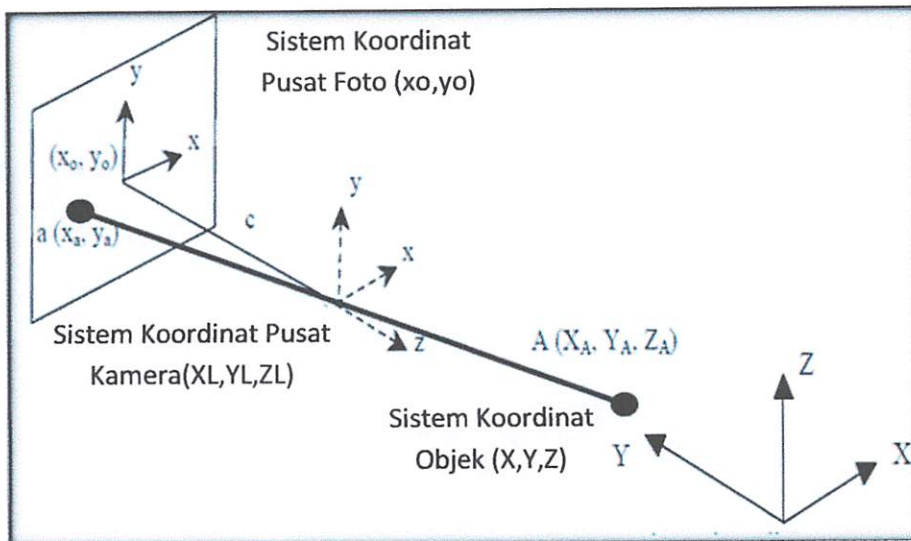
Fotogrametri boleh dilakukan dengan menggunakan kamera metrik dan kamera non-metrik seperti kamera digital, dan kamera CCD (*Charge Couple Device*) atau kamera video analog. Disamping itu secara umum, pelaksanaan fotogrametri melibatkan tiga peringkat yang penting yaitu data input, pemrosesan data, dan data output.

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 (Zuhaidah Binti Nordin, 1998.)

Pada teknik *Close Range Photogrammetry* pengukuran terhadap suatu objek biasanya dilakukan terhadap hasil perekaman dari beberapa alat sensor. Kamera dan prosedur analisis fotogrametri terestris ini dimulai pada akhir abad ke 19 oleh seorang kolonel Perancis, Laussedat (Atkinson, 1980). Konsep *fundamental* fotogrametri tetap sama. Perkembangan pada dunia fotogrametri seiring majunya teknologi kamera dan komputasi meningkatkan efektivitas waktu dan tingkat akurasi (Leitch, 2002). Pada tahun 1976, *Torlegard* dalam *Leitch* (2002) menulis bahwa pendekatan analitik seperti hitung perataan secara digital serta penggunaan kamera non-metrik akan berkembang penggunaannya di dunia industri dan teknik sipil. Kamera non-metrik bukan didesain untuk keperluan fotogrametri, namun memiliki harga yang jauh lebih murah dan jangkauan pasar yang lebih luas.

II.6 Prinsip Dasar Close Range Photogrammetri

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 dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.6 : Kondisi kolinear atau Kondisi kesegarisan, Atkinson,1996, dan Suwardhi,2007

Dalam fotogrametri, posisi dari sebuah objek pada ruang didefinisikan pada sistem koordinat kartesian 3D. Pada awalnya, objek terdefinisi pada sistem koordinat berkas. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk mendapatkan koordinat objek pada sistem koordinat tanah. Antara kedua sistem koordinat itu terdapat perbedaan orientasi dan skala, sehingga transformasi koordinat terdiri dari translasi, rotasi dan perubahan skala.

Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif (*perspective center*). Titik pusat lensa kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya. Perhatikan Gambar 2.1. XL, YL, ZL merupakan titik pusat kamera, x_a , y_a , $-c$ merupakan koordinat sebuah titik A pada sistem koordinat foto, dan X_A , Y_A , Z_A merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolinearitas adalah.

$$x_a = -c \frac{[r_{11}(X_o - X_A) + r_{12}(Y_o - Y_A) + r_{13}(Z_o - Z_A)]}{[r_{31}(X_o - X_A) + r_{32}(Y_o - Y_A) + r_{33}(Z_o - Z_A)]}$$

$$y_a = -c \frac{[r_{21}(X_o - X_A) + r_{22}(Y_o - Y_A) + r_{23}(Z_o - Z_A)]}{[r_{31}(X_o - X_A) + r_{32}(Y_o - Y_A) + r_{33}(Z_o - Z_A)]} \quad (2.15)$$

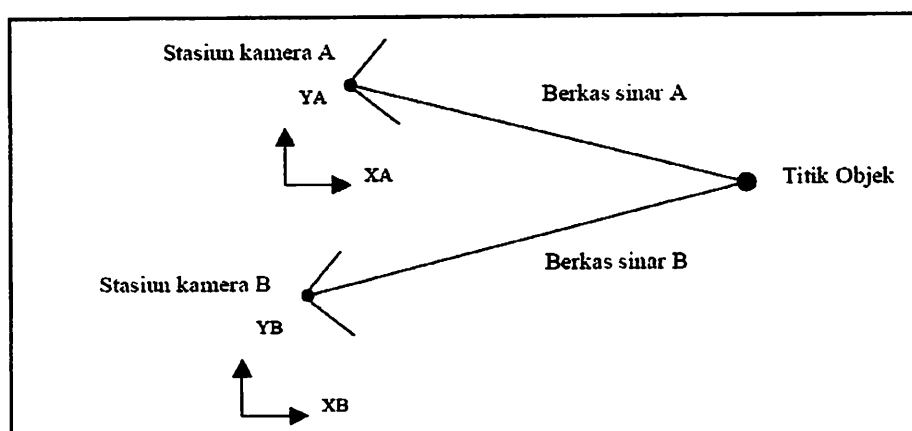
Dengan c merupakan *principal distance*, dan r_{ij} merupakan elemen dari matriks rotasi

$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos\varphi \cos\kappa \\ r_{12} &= \sin\omega \sin\varphi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa \\ r_{13} &= -\cos\omega \sin\varphi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\ r_{21} &= -\cos\varphi \sin\kappa \\ r_{22} &= -\sin\omega \sin\varphi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa \\ r_{23} &= \cos\omega \sin\varphi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\ r_{31} &= \sin\varphi \\ r_{32} &= -\sin\omega \cos\varphi \\ r_{33} &= \cos\omega \cos\kappa \end{aligned} \quad (2.16)$$

Ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut

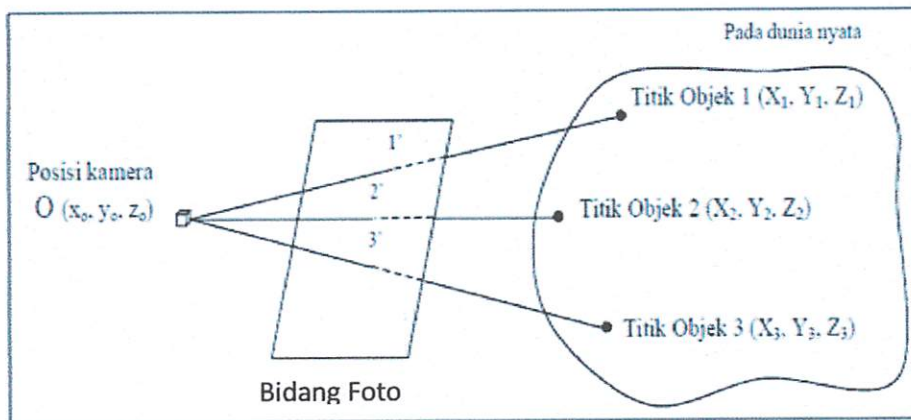
$$\begin{array}{ccc}
 \cos \varphi \cos \kappa & \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa & -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\
 -\cos \varphi \sin \kappa & -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa & \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\
 \sin \varphi & -\sin \omega \cos \varphi & \cos \omega \cos \varphi
 \end{array}
 \quad (2.17)$$

R_κ merupakan rotasi terhadap sumbu z, R_φ adalah rotasi terhadap sumbu y, sedangkan R_ω rotasi terhadap sumbu x. Untuk mendapatkan posisi objek pada dunia nyata, maka diperlukan berkas sinar objek yang sama dari foto lainnya (Leitch, 2002). Kedua berkas sinar akan berpotongan pada objek yang sama di dunia nyata. Perpotongan ini dinamakan interseksi spasial (Atkinson, 1996). Jika terdapat titik A di lapangan yang dapat diamati dari 2 foto, maka di setiap foto akan terdapat bayangan titik tersebut. Apabila diketahui posisi kamera dan arah sumbu optiknya maka perpotongan sinar garis dari foto 1 dan foto 2 akan dapat menentukan posisi koordinat titik P tersebut (Wolf, 1993). Prinsip penentuan posisi dari perpotongan sinar ini dikenal dengan interseksi spasial. Berikut adalah gambar ilustrasi tentang prinsip penentuan posisi dengan metode interseksi spasial



Gambar 2.7 : Interseksi Spasial (Berdasarkan Leitch, 2002)

Untuk dapat menentukan posisi dari titik objek relatif terhadap sistem koordinat kamera, maka lokasi tepat dari pusat perspektif kamera dari setiap foto harus diketahui. Hal ini dilakukan dengan reseksi spasial. Reseksi spasial atau *space resection* merupakan salah satu pemakaian persamaan kolinier. Pada reseksi spasial ini posisi atau koordinat dan orientasi kamera pada saat pemotretan (*exposure*) akan dicari. Untuk melakukan reseksi spasial, tiap foto harus mengandung setidaknya 3 titik yang diketahui koordinatnya sebagai titik kontrol.



Gambar 2.8 : Reseksi Spasial

Pada reseksi spasial ini, harus diketahui koordinat (X, Y, Z) titik 1, 2, 3 di tanah, dalam hal ini pada objek, biasanya melalui pengukuran, dan juga diketahui koordinat (x, y, z) titik 1, 2, 3 di foto. Parameter yang dihitung adalah parameter orientasi luar (Eksterior Orientasi) $\omega, \phi, \kappa, XL, YL, ZL$.

II.7 Estimasi Hitung Perataan dengan *Least Square Estimation* dan *Bundle Adjustment*

Proses perhitungan menggunakan hitung perataan memiliki kelebihan karena dapat mengakomodasi jumlah ukuran lebih sehingga ketelitian dapat ditingkatkan:

Least Square Estimation (LSE) menyediakan suatu metoda sistematis untuk menghitung nilai koordinat dan elemen lain dalam fotogrametri bergantung banyaknya ukuran lebih dari berbagai pengamatan dan bobotnya. Dengan hitung perataan dimungkinkan adanya perhitungan variansi - kovariansi parameter yang sudah memperhitungkan variansi - kovariansi pengamatan. Jika terdapat asumsi awal dari besar variansi pengamatan maka dapat diperoleh analisis apriori untuk dapat mendesain konfigurasi kamera dan konfigurasi objek untuk menentukan konfigurasi optimum yang memenuhi presisi, reliabilitas dan akurasi. Selain itu dengan hitung perataan terdapat fleksibilitas dimana elemen dapat diperlakukan sebagai parameter atau pengamatan atau nilai konstan.

Bundle adjustment merupakan proses hitung perataan yang dilakukan secara simultan terhadap semua pengamatan dan parameter yang terlibat, dari data foto hingga menghasilkan data koordinat tanah (Atkinson, 1996). Proses evaluasi koordinat target dan parameter eksterior orientasi dari kamera menggunakan kamera didasarkan pada persamaan kolinearitas. Pada saat interior parameter yang merepresentasi parameter kalibrasi kamera juga dilibatkan, proses ini dinamakan *self-calibrating bundle adjustment*

Penyusunan persamaan dalam *self-calibrating bundle adjustment* adalah (Atkinson, 1996):

$$\begin{aligned} & x_{ij} - x_{oj} + (x_{ij} - x) r_{ij}^{-1} (k_{1j} r_{ij}^3 + k_{2j} r_{ij}^5 + k_{3j} r_{ij}^7) + p_{1j} [r_{ij}^2 + 2(x_{ij} - x_{oj})^2] \\ & + 2p_{2j} (x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) \\ & = -c_j \frac{[r_{j,11}(X_{oj} - X_i) + r_{j,12}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,13}(Z_{oj} - Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{oj} - Z_i)]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& y_{ij} - y_{oj} + (y_{ij} - y_{oj})r_{ij}^{-1}(k_{1j}r_{ij}^3 + k_{2j}r_{ij}^5 + k_{3j}r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + 2(y_{ij} - y_{oj})^2] \\
& + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) \\
& = -c_j \frac{[r_{j,21}(X_{oj} - X_i) + r_{j,22}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,23}(Z_{oj} - Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{oj} - Z_i)]}
\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}
& x_{ij} - x_{oj} + (x_{ij} - x_{oj})r_{ij}^{-1}(k_{1j}r_{ij}^3 + k_{2j}r_{ij}^5 + k_{3j}r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + 2(x_{ij} - x_{oj})^2] \\
& + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) \\
& + c_j \frac{[r_{j,11}(X_{oj} - X_i) + r_{j,12}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,13}(Z_{oj} - Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{oj} - Z_i)]} = 0 \\
& y_{ij} - y_{oj} + (y_{ij} - y_{oj})r_{ij}^{-1}(k_{1j}r_{ij}^3 + k_{2j}r_{ij}^5 + k_{3j}r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + 2(y_{ij} - y_{oj})^2] \\
& + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) \\
& + c_j \frac{[r_{j,21}(X_{oj} - X_i) + r_{j,22}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,23}(Z_{oj} - Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{oj} - Z_i)]} = 0
\end{aligned} \tag{2.18}$$

$$A = [A_1 A_2] \text{ dan } \Delta X = [\Delta X_1 \Delta X_2]$$

Selanjutnya anu parameter dihitung dari rumus:

$$\Delta x = \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} A_1^T & W \\ A_2^T & W \end{pmatrix} b = N^{-1} \begin{pmatrix} A_1^T & W \\ A_2^T & W \end{pmatrix} b \tag{2.19}$$

II.8 Kalibrasi Kamera

Kamera non-metrik tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya

penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter internal kamera (IOP) meliputi *principal distance* (c), titik pusat fidusial foto (x_o, y_o), distorsi lensa (K_1, K_2, K_3, P_1 and P_2), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y (b_1, b_2) (Fraser, 1997).

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. Distorsi lensa dapat dibagi menjadi distorsi radial dan distorsi tangensial.

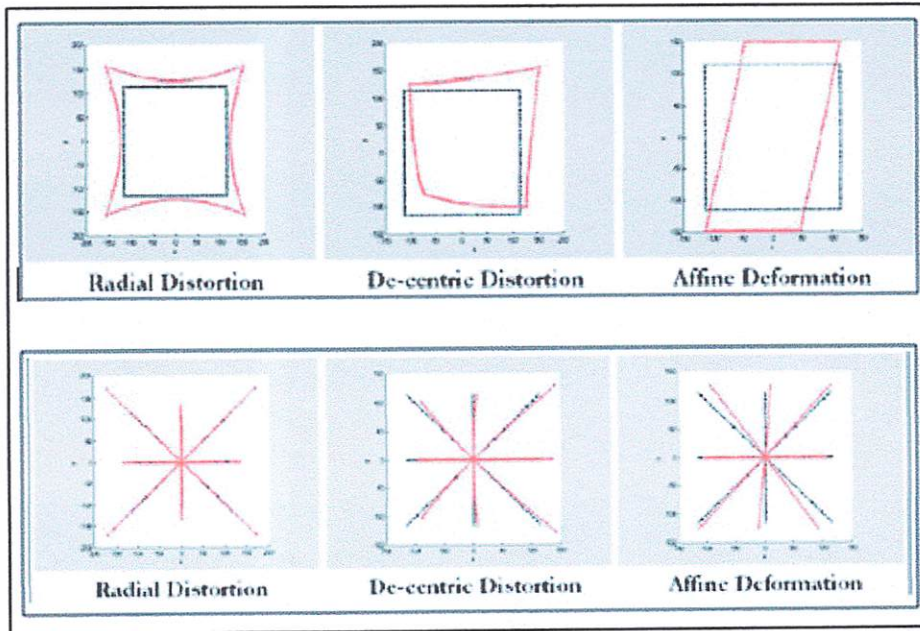
Distorsi radial adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. (ASP, 1980, hal 1035 dalam Wigrata, 1986). Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polinomial dari jarak radial (δr) terhadap titik utama foto (Atkinson, 2000) sebagai berikut:

$$\delta r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7, r^2 = (x - X_o)^2 + (y - Y_o)^2 \quad (2.20)$$

Distorsi tangensial atau distorsi decentric adalah pergeseran linier titik di foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. (ASP, 1980, hal 1041, dalam Wigrata, 1986). Distorsi tangensial disebabkan kesalahan sentering elemen-elemen lensa dalam satu gabungan lensa dimana titik pusat elemen-elemen lensa dalam gabungan lensa tersebut tidak terletak pada satu garis lurus. Pergeseran ini biasa dideskripsikan dengan 2 persamaan polinomial untuk pergeseran pada arah x (δx) dan y (δy) (Atkinson 1996).

$$\begin{aligned} \delta x &= p_1[r^2 + 2(x - X_o)^2] + 2p_2(x - x_o)(y - y_o) \\ \delta y &= p_1[r^2 + 2(y - Y_o)^2] + 2p_2(x - x_o)(y - y_o) \end{aligned} \quad (2.21)$$

Ilustrasi adanya distorsi pada lensa ditunjukkan pada gambar berikut;



Gambar 2.9 : Ilustrasi Distorsi Lensa Dan Tidak Orthogonalnya, Pullivelli, 2005

II.9 Metode Pengambilan Gambar

Dalam pengambilan gambar pada objek, sebaiknya dilakukan *multiple snapshots* untuk mendapatkan gambar 3D yang utuh. Posisi yang diperlukan adalah 360 derajat secara horisontal dan 180 derajat secara vertikal. Untuk pengambilan gambar secara horisontal sebaiknya dilakukan setiap 30 atau 45 derajat dan setiap derajat diambil gambar dengan posisi yang berbeda, yaitu depan, kiri atas, kanan atas, kanan bawah, dan kiri bawah.

Jumlah gambar yang diperlukan untuk pembuatan model 3D sebaiknya tidak berlebih dan juga tidak kurang. Apabila foto yang diambil terlalu banyak, maka komputer akan bekerja terlalu berat sehingga waktu yang diperlukan akan semakin lama. Sebaliknya jika jumlah gambar yang diambil terlalu sedikit,

maka kualitas dari model 3D akan kurang, dan tidak menutup kemungkinan akan terjadi lubang pada salah satu sisi model 3 Dimensi.

Untuk kualitas gambar yang akan digunakan untuk membuat model 3 Dimensi bergantung pada jenis kamera yang digunakan. Apabila menggunakan *pocket camera* sebaiknya perlu memperhatikan faktor-faktor iso dan *anti-shake* atau *vibration reduction*.

Pada umumnya *pocket camera* menggunakan auto ISO, sehingga tidak menutup kemungkinan kamera menggunakan ISO yang tinggi sehingga akan menghasilkan bintik-bintik atau *noise* pada gambar. *Noise* sering terjadi pada daerah yang kurang cahaya dan pengambilannya dengan menggunakan ISO tinggi. Beberapa foto yang terkumpul dari berbagai sudut pengambilan diolah dengan sebuah software yang nantinya akan menghasilkan gambar 3D. Gambar - gambar yang dikumpulkan tersebut diolah dan akan menghasilkan *point cloud*. Dari titik – titik tersebut nantinya akan terbentuk garis dan selanjutnya akan terbentuklah sebuah sisi dari kumpulan sisi akan terbentuklah sebuah ruang yang disebut model 3 Dimensi.

II.10 Pembuatan Model 3D

photomodeling adalah pengambilan gambar menggunakan kumpulan foto. Menurut Kraus (2002), pengambilan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *photochemical images (conventional photography)*. Gambar diperoleh dari kamera film dan *photoelectric images (digital photography)* dimana gambar diperoleh dari kamera digital. Metode ini mengumpulkan foto sebuah objek yang diambil dari berbagai sudut pandang. Dengan menggunakan sebuah *software*

photomodeler v6, foto-foto tersebut dijadikan sebuah input dan akan menghasilkan output objek 3D.

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 (Akhmad, 2012).

II.11 Metode Pengolahan Animasi Video 3D

Perangkat lunak utama pada penelitian ini yang digunakan dalam pembentukan animasi video 3D adalah *PhotoModeler Scanner V.6*. 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, (Akhmad, 2012). Modul PhotoModeler Scanner digunakan untuk membuat sebuah model 3D yang berformat *.PMR*, dari rangkaian foto suatu obyek.

Perangkat lunak PhotoModeler Scanner ini memungkinkan pembuatan animasi, berorientasi mengedit atau mengolah foto dan video. Photomodeler adalah alat yang ampuh untuk membuat model 3D untuk animasi dan multimedia aplikasi dan digunakan secara luas dalam bidang animasi, produksi film dan video (pra dan pasca). Dengan tool ini pemodelan pemenang penghargaan, Anda dapat mengekspor sederhana dan mudah model 3D rinci dengan foto-tekstur untuk digunakan dalam KMPlayer, 3D Studio, OBJ, dan format VRML untuk digunakan dalam banyak program seperti Maya, 3D Studio Max, XSI, Cinema 4D, Data posisi kamera serta dihitung juga dapat diekspor (PhotoModeler, 2013).

BAB III

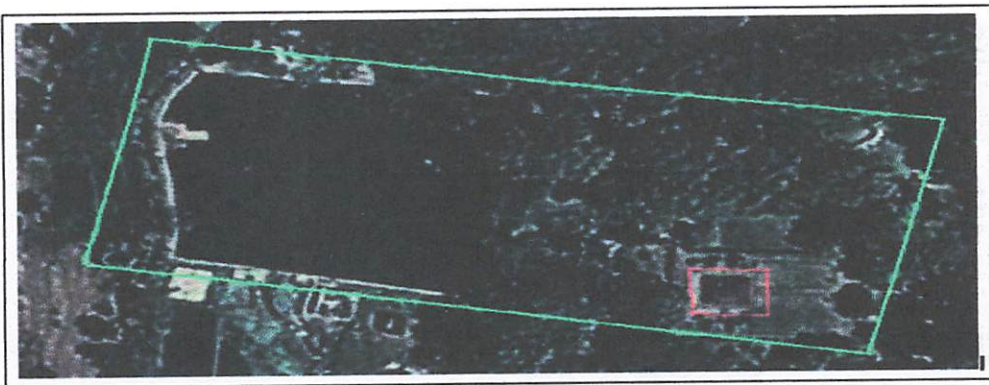
PELAKSANAAN PENELITIAN

III.1 Persiapan Penelitian

Dengan mempertimbangkan tujuan yang ingin dicapai, maka proses penelitian haruslah mengacu pada teori-teori yang ada. Selain teori, beberapa persyaratan yang juga harus dipenuhi antara lain, tersedianya alat dan bahan untuk menunjang proses penelitian, perencanaan proses kegiatan yang matang dan direalisasikan dalam sebuah bagan alir, sehingga sistematika pelaksanaan tetap terjaga. Dengan demikian, pada bab tiga ini akan dibahas mengenai proses pelaksanaan penelitian mulai dari persiapan hingga proses penyajian hasil secara mendetail dan jelas. Meliputi proses – proses yang dilakukan di dalam memvisualisasikan model animasi 3D.

III.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Situs Candi Sumberawan, yang terletak di Desa Toyomarto, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang.



Gambar 3.0 : Lokasi Penelitian

III.1.2 Persiapan Alat Dan Bahan Penelitian

Tahapan persiapan alat dan bahan penelitian merupakan hal yang sangat penting dalam menunjang aktifitas penelitian, karena kesiapan dan kelengkapan alat dan bahan merupakan salah satu faktor tercapainya tujuan dari penelitian. Adapun alat dan bahan yang digunakan akan dijelaskan secara rinci pada tiap sub-bab dibawah ini.

III.1.2.1 Alat Penunjang Penelitian

Adapun alat-alat yang akan digunakan dalam proses penelitian mengenai penentuan nilai orientasi awal dan koordinat objek tiga-dimensi pada foto stereo ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat Keras

- Laptop Compaq 421, *ATI Radeon Duolcore*
- Kamera Nikon D40 SLR

dengan spesifikasi sebagai berikut :

- ✓ Panjang fokus : 18 – 55 mm
- ✓ Ukuran Sensor (CCD) : 23.7 x 15.5 mm
- ✓ Resolusi Gambar : *6 Mpixel*
- Papan Kalibrasi
- Stiker *Retro-reflective* Target

2. Perangkat lunak (*Software*)

- PhotoModeler Scanner v.6
- Microsoft Word 2007
- Notepad
- Windows Xp

III.1.2.2 Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan meliputi: Titik kontrol, dan *Template* kalibrasi yang diperoleh dari *Software Photomodeller 6*.

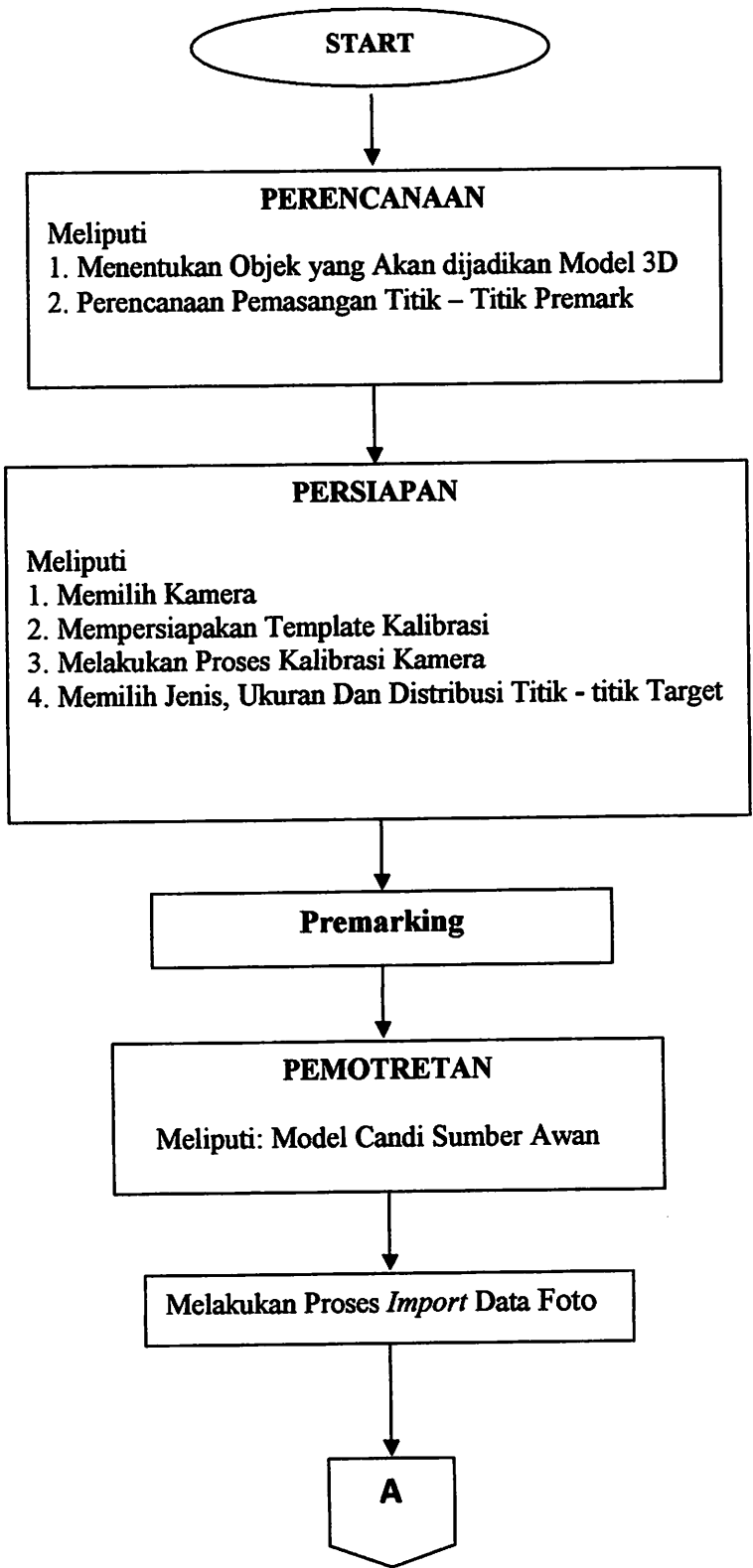
III.1.2.3 Peralatan Pendukung

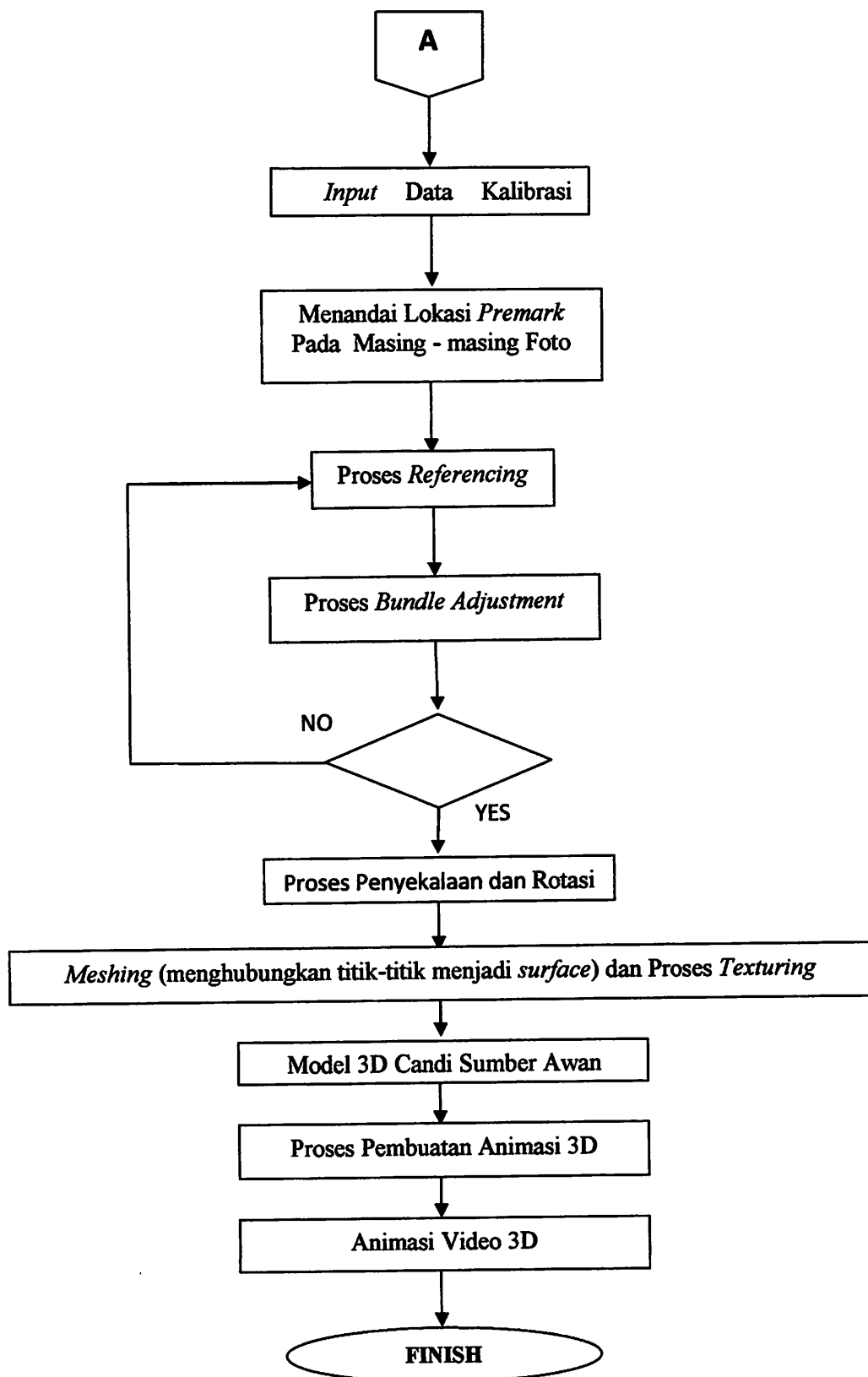
Peralatan pendukung yang digunakan didalam penelitian ini meliputi: *rool* meter, *tripot* kamera, buku catatan, alat tulis.

III.2 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian secara keseluruhan memiliki beberapa tahapan, yang secara global meliputi pengambilan data, *processing* data, serta penyajian hasilnya. Pada Gambar 3.2 akan ditunjukan mengenai diagram alir penelitian.

III.2.1 Diagram alir penelitian





Gambar 3.1 : Diagram Alir Penelitian

Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Uraian global tahapan penelitian yang tertera didalam diagram alir akan dijelaskan dalam penjelasan berikut ini yang meliputi:

1. Tahap Perencanaan

Pada tahapan ini yang dilakukan yaitu menentukan objek yang akan dijadikan model 3D beserta perencananaan pemasangan titik titik *Premark*.

2. Tahap Persiapan

Pada tahapan persiapan dilakukan penyusunan kerangka pikir yang didasarkan pada maksud dan tujuan penyusunan model animasi 3D secara *virtual*, yang mengacu pada factor teknis berupa daya dukung *software* dan bentuk akhir dari visualisasinya.

Kegiatan yang dilakukan adalah menyiapkan segala unsur – unsur yang mendukung kelancaran proses pembuatan model 3D yaitu memilih alat yang akan digunakan, melakukan proses kalibrasi kamera, memilih dan menentukan ukuran titik - titik target.

3. Pengambilan data

Pada tahap ini dilakukan proses pemotretan kondisi fisik Candi Sumber Awan yang dilakukan dengan teknik *close range* fotogrametri dan melakukan pengukuran terhadap masing masing titik kontrol.

4. Pengolahan data

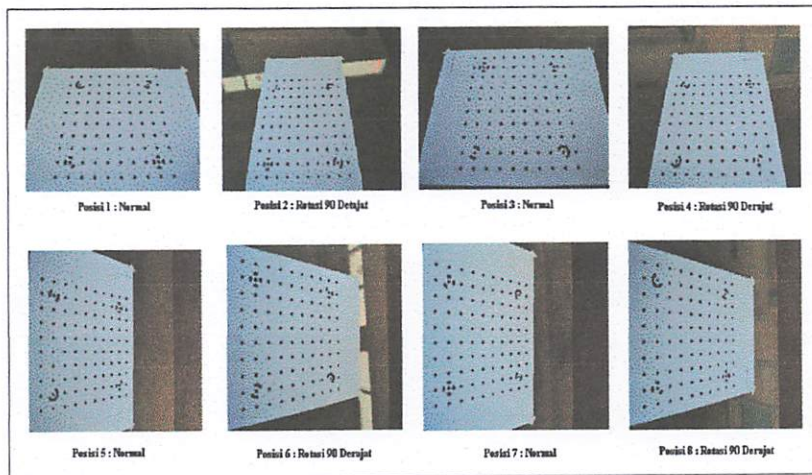
Hasil pemotretan yang berupa data foto selanjutnya diolah dengan menggunakan software *PhotoModeler Scanner V.6*. Prosesnya meliputi input data foto hasil pemotretan, input data kalibrasi, menandai titik titik lokasi target masing pada foto, melakukan *refferencing*, melakukan proses bundle adjustment, melakukan proses penyekalaan dan rotasi, proses *texturing surface* hingga terbentuknya model 3D. Hingga pembuatan animasi video 3D.

Berikut ini adalah detail dari keseluruhan tahapan didalam pelaksanaan penelitian ini, beserta tahapan pengolahan datanya di dalam *software*.

III.2.2 Pemotretan *Template* Kalibrasi

Pelaksanaan pemotretan *template* kalibrasi dibutuhkan posisi dan sudut pemotretan yang berbeda-beda. Sebelum dilakukan pemotretan terhadap *template* kalibrasi kamera, terlebih dahulu dilakukan pengaturan panjang fokus kamera yang akan digunakan untuk mengambil data objek yang akan digunakan didalam *project photomodeller*. Selain itu *template* kalibrasi harus diletakkan diatas bidang datar. Ketika dilakukan pemotretan, *template* kalibrasi harus dipastikan terbebas semua dari penghalang yang dapat menutupi *point-point grid*. Data yang diambil dari pemotretan ini ini minimal 6 buah data foto.

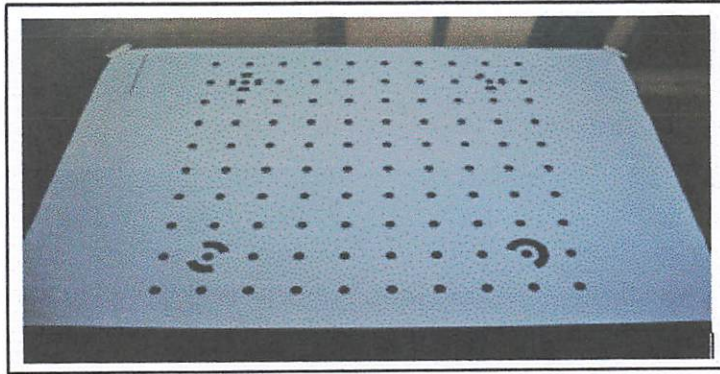
Dari pengambilan data kalibrasi tersebut, dihasilkan fofo-foto yang berbeda. Pada gambar 3.3 gambaran data foto yang selanjutnya akan diproses didalam *software photomodeller scanner*.



Gambar 3.2 : Data foto untuk kalibrasi kamera

III.2.3 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 A4. Bidang kalibrasi merupakan bidang kalibrasi bawaan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner*. Bidang kalibrasi yang dipakai adalah yang mempunyai titik 10x10 dan panjang fokus kamera 18 mm.



Gambar 3.3 : Tamplate Calibration

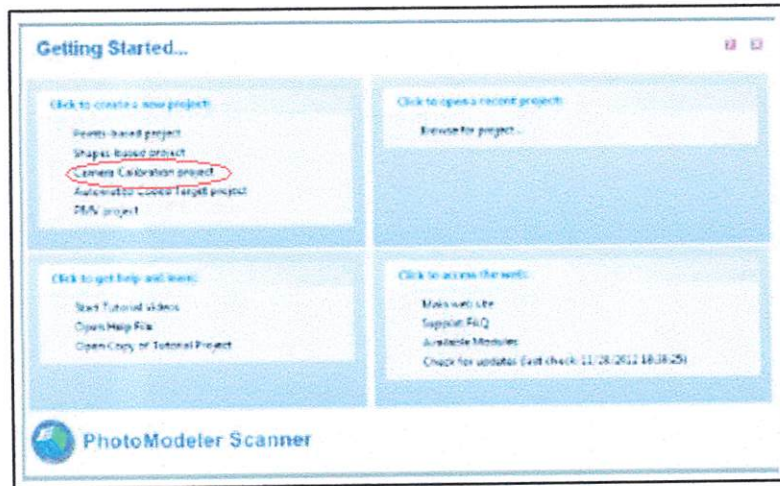
III.2.3.1 Proses Kalibrasi Kamera Pada Photomodeler Scanner V.6

Proses kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan *software photomodeller scanner*. Proses ini memerlukan data foto dari *template kalibrasi* yang mana data foto *template kalibrasi* tersebut, harus terlihat semua keempat titik kontrolnya. Berikut merupakan gambaran *template kalibrasi* beserta keterangan titik kontrolnya.

Proses kalibrasi kamera ini, menghasilkan sepuluh parameter kalibrasi kamera, melalui proses menggunakan *software tersebut*. Parameter tersebut meliputi panjang fokus (c), *principal point* (X_p , Y_p), *format width* (Fw), *format height* (Fh), *distrorsi tangensial* (P_1 , P_2), *ditorsi radial* (K_1 , K_2 , K_3). Berikut ini adalah tahapan proses kalibrasi kamera didalam *software photomodeller scanner*.

1. Aktif pada *software photomodeller scanner*, pada kotak dialog *getting started* pilih *camera calibration project*, selanjutnya memasukkan foto hasil pemotretan *template kalibrasi* kamera. Jumlah foto yang diproses untuk kalibrasi dalam penelitian ini sebanyak 8 buah. Kemudian dipilih

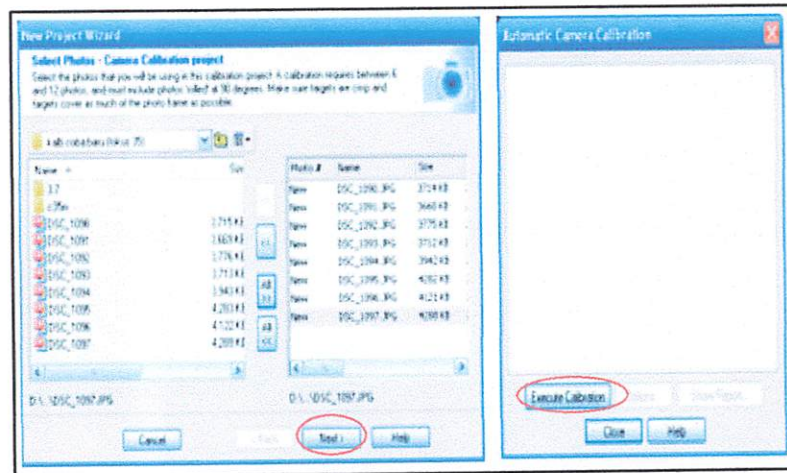
next pada kotak dialog *New Project Wizard*. Berikut tampilan awal pada software *photomodeller*.



Gambar 3.4 : Menu Getting started

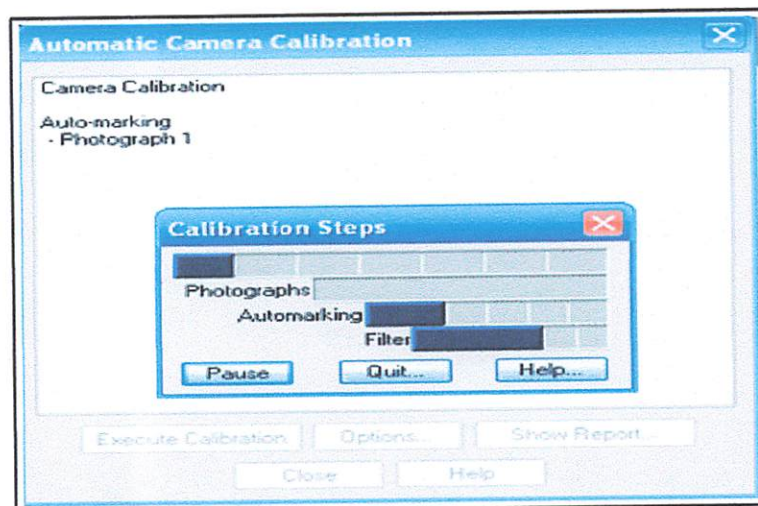
2. Pada perintah *automatic camera calibration* pilih *execute calibration*, maka akan berjalan proses untuk menentukan parameter kalibrasi kamera. Dalam proses kalibrasi terkadang terdapat beberapa *problem* (masalah) yang dapat mengakibatkan kurang sempurnanya hasil kalibrasi, maka untuk mengetahui penyebabnya dapat dilihat pada kotak dialog *project status report*. Aktif pada kotak dialog *automatic camera calibration* → *show report* → maka akan muncul kotak dialog *project status report*. Pada bagaian ini berisi daftar beberapa parameter hasil kalibrasi termasuk *problem* (masalah) yang menyangkut tentang kalibrasi kamera beserta solusi untuk memperbaikinya. Berikut ini adalah gambaran dari kotak dialog *automatic camera calibration* beserta gambaran kotak dialog *project status report* untuk mengahui penyebab kurang sempurnanya proses kalibrasi beserta solusinya.

Pada jendela dialog New Project Wizard, pilih lokasi photo, pilih foto yang dikalibrasi, klik tombol  → klik tombol “Next”, selanjutnya muncul jendela seperti berikut;



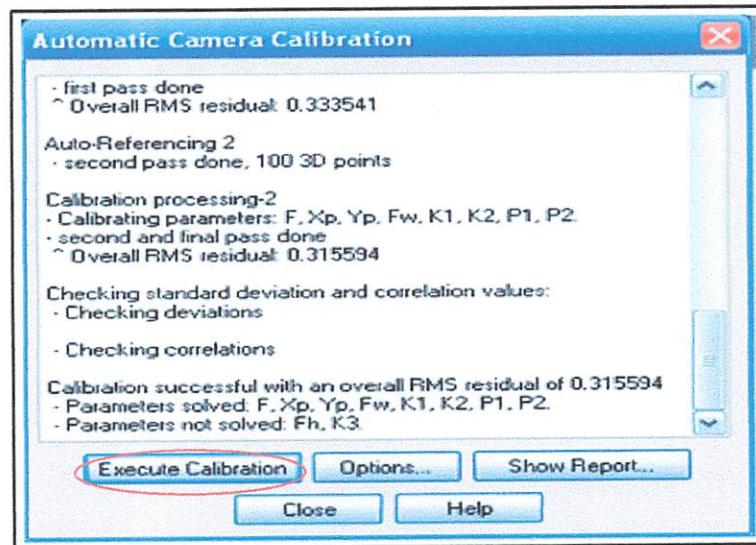
Gambar 3.5 : menu New Project Wizard dan Automatic Camera Calibration

klik “execute calibration” , tunggu sampai proses selesai.



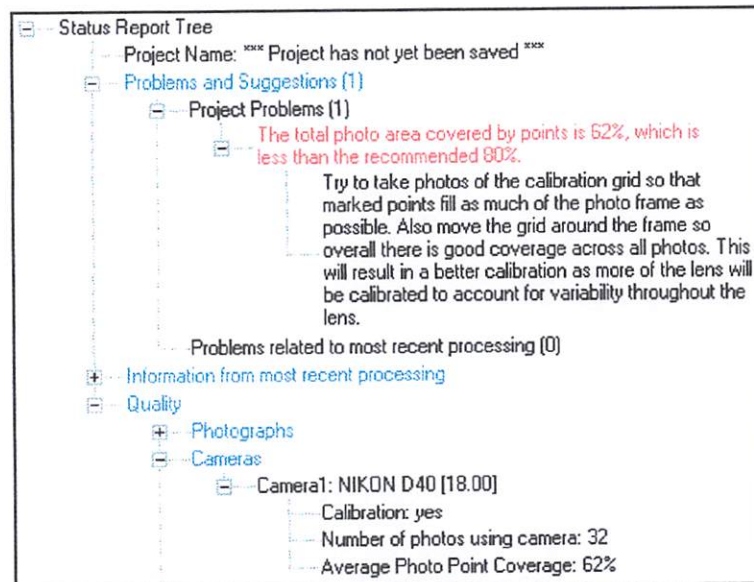
Gambar 3.6 : Tampilan execute calibration

Setelah memproses data, maka akan muncul tampilan seperti ini :



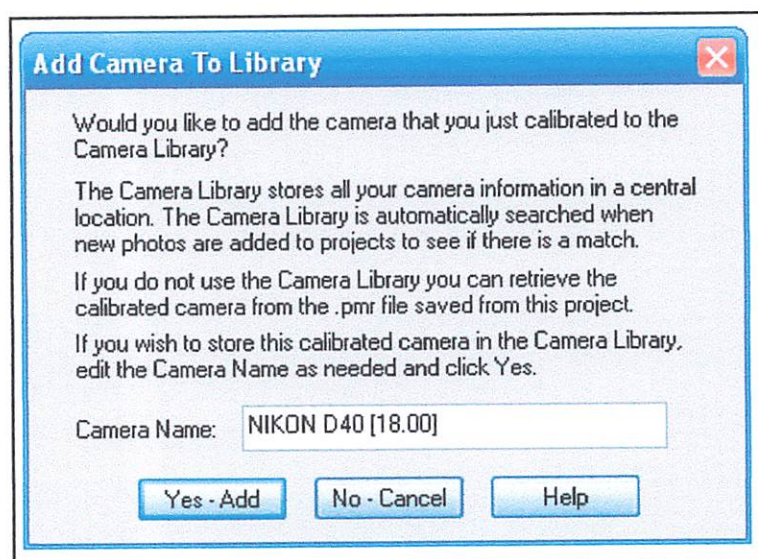
Gambar 3.7 : Tampilan hasil execute calibration

Jika ingin menampilkan “Project Status Report” klik “Show Report”. Maka akan muncul tampilan seperti berikut.



Gambar 3.8 : Tampilan hasil Project Status Report

Tampilan *Add Camera To Library*. Seperti berikut.



Gambar 3.9 : Tampilan *Add Camera To Library*

3. Jika proses berhasil, selanjutnya dipilih tombol *close*, selanjutnya parameter hasil kalibrasi kamera disimpan format **.pmr* (*photomodeller project*), yang selanjutnya digunakan untuk *input* dalam proses dalam pembuatan model 3D. Selain disimpan didalam format **.pmr* hasil kalibrasi juga dapat disimpan kedalam format **.txt*. untuk menyimpan dalam format **.txt*, langkahnya yaitu aktif pada kotak dialog *project status report* → *write to text file* → tentukan lokasi penyimpanannya → *save*.

Didalam pelaksanaan penelitian ini, perangkat lunak utama yang digunakan didalam pemrosesan data foto yaitu *photomodeller scanner*. *Software* ini mampu menciptakan model 3D yang akurat (terdiri dari *Point*, *Lines*, *Curves*, *Edge*, *Silinder*, *Surfaces*, *NURBS*, dan *Shapes*), dan pengukuran 3D yang akurat dari foto-foto yang diambil dengan kamera yang

standart (baik digital atau film). Model 3D dapat dibuat dan *diekspor* dengan tekstur fotografi yang diambil dari foto asli. Otomasi tersedia dengan *target code* (seperti target khusus melingkar yang pasang sebelum pelaksanaan fotografi).

Photomodeller Scanner dapat mengimpor data 3D untuk perbandingan, pencocokan, dan sebagai titik kontrol dalam sebuah prosesing data. Format *file* masukan diterima adalah *DXF*, *OBJ Wavefront*, *3D Studio 3DS*, dan *Raw File Text*. *Eksport Photomodeller* data 3D dengan format *3DS*, *Rhino 3DM*, *DXF*, *Filmbox FBX*, *IGES*, *Google Earth*, *Maya Script*, *3D Studio Max Script*, *OBJ Wavefront*, *RAW*, dan *VRML (Eos Photomodeller)*. Pada sub-bab III.2.4 akan dijelaskan tentang pemotretan gedung dan proses pembuatan model 3D dengan menggunakan *software photomodeller scanner*.

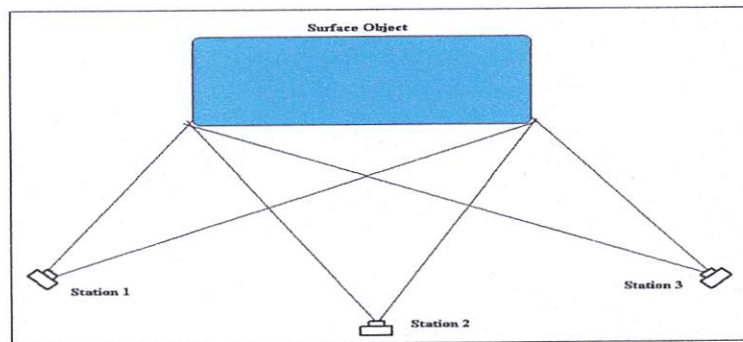
III.2.4 Pemotretan Objek 3D (Candi)

Didalam penelitian ini, objek yang akan dibentuk menjadi model 3D yaitu candi sumber awan. Didalam pengambilan data foto untuk dijadikan objek model 3D didalam *software photomodeller scanner*, supaya mempermudah pemrosesan terdapat beberapa ketentuan sebagai berikut:

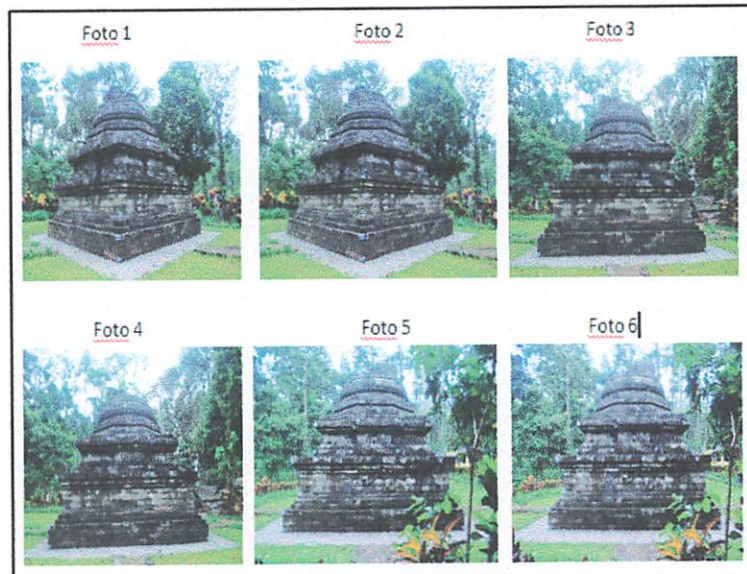
1. Pemotretan dilakukan tegak lurus antara objek dengan posisi kamera (90 derajat).
2. Pengambilan data foto minimal 2 buah, namun lebih baik jika diambil data lebih banyak.
3. Semua titik-titik yang penting harus terekam di kedua foto tersebut.

4. Diantara foto-foto yang diambil harus *overlapping* sebesar mungkin.
5. Dilakukan pengukuran antara 2 titik kontrol yang digunakan sebagai pedoman dalam proses penyekalaan.

Berikut ini merupakan ilustrasi pemotretan objek beserta gambaran data hasil pemotretan dari salah satu sisi gedung yang akan diproses didalam *photomodeller scanner*.

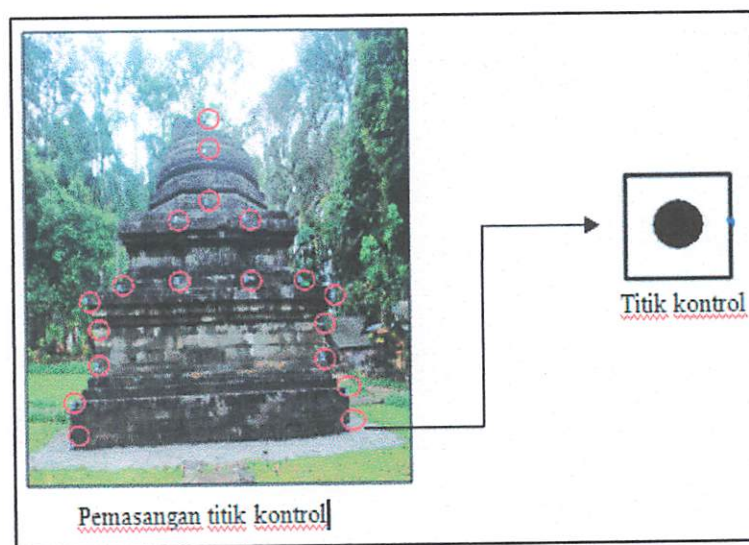


Gambar 3.10 : Ilustrasi pengambilan data



Gambar 3.11 : Foto salah satu sisi Candi

Sebelum dilakukan pemotretan terhadap objek 3D dari gedung tersebut, hal yang perlu dilakukan yaitu pemasangan titik kontrol. Titik kontrol dipasang disetiap sisi gedung, titik kontrol tersebut berfungsi untuk membuat ukuran dari model 3D virtual sesuai ukurannya dengan objek dunia nyata. Berikut merupakan gambaran dari pemasangan titik kontrol dari salah satu sisi gedung.



Gambar 3.12 : Pemasangan titik kontrol

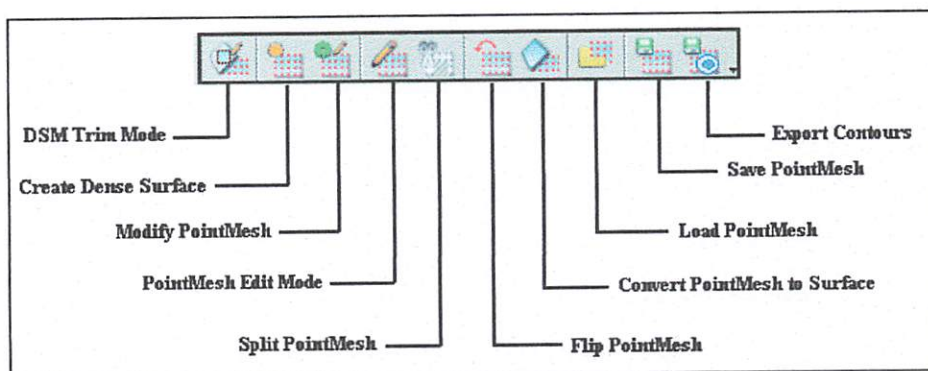
Ukuran titik kontrol disesuaikan dengan bagaimana titik kontrol tersebut dapat terlihat oleh kamera. Setelah titik kontrol terpasang dan dilakukan pemotretan, hasil dari pemotretan selanjutnya disimpan, dan diinputkan ketika dilakukan pengolahan data. Pada Sub Bab III.2.5 akan dibahas mengenai proses pembuatan model 3D dengan menggunakan *software photomodeller scanner*.

III.2.5 Pembuatan Model 3D dengan Menggunakan *Photomodeller Scanner*

Dalam pembuatan model 3D dengan menggunakan *software photomodeller scanner* dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya yaitu dengan *path mode* dan *dense surface model*. Dalam penelitian ini pembuatan model 3D dilakukan dengan metode *DSM (Dense Surface Modelling)*. Berikut ini langkah-langkah pembuatan model 3D *DSM (Dense Surface Modelling)*.

III.2.5.1 Pembuatan model 3D dengan *dense surface model*

Dense surface model merupakan representasi digital dari bentuk model 3D dari kumpulan *point cloud*. Proses *DSM* mampu menciptakan sekumpulan *point-point* yang dihubungkan oleh garis hingga terbentuk permukaan segitiga yang disebut dengan *PointMesh*. Berikut adalah menu yang terdapat didalam *Dense Surface Model*.



Gambar 3.13 : Menu dense surface

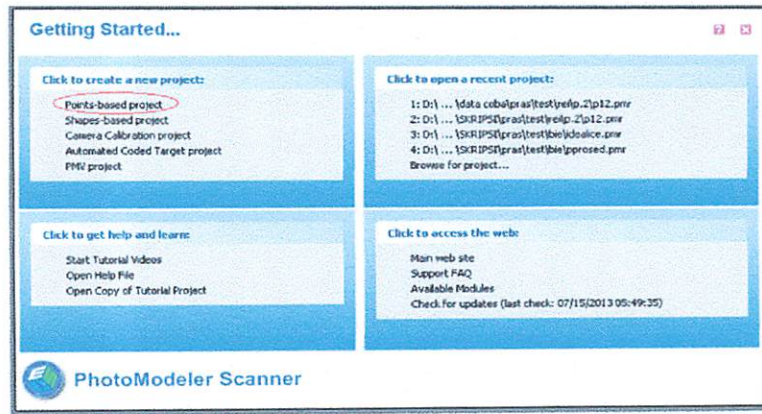
Berikut ini penjelasan *tools* pada Gambar 3.14 yang disesuaikan dengan penggunaannya dalam penelitian ini

1.  *DSM Trim Mode* yaitu menu yang digunakan untuk membatasi area foto yang akan dijadikan model 3D dengan menggunakan metode *Dense Surface Model*.
2.  *Create Dense Surface* yaitu menu yang digunakan untuk membuat *Dense Surface* dari titik-titik objek 3D hasil proses *bundle adjustment*.
3.  *Modify PointMesh* yaitu menu yang digunakan untuk mengkonversi *pointmesh* menjadi jaringan-jaringan segitiga (*TIN*).
4.  *PointMesh Edit Mode* yaitu menu yang digunakan untuk melakukan *editing* terhadap *pointmesh* yang telah terbentuk (misalnya untuk memilih *pointmesh* yang akan dihapus).
5.  *Split PointMesh* yaitu menu yang digunakan untuk memisahkan *pointmesh*, supaya membentuk *pointmesh* baru.
6.  *Flip PointMesh* yaitu menu yang digunakan untuk membalik *pointmesh* yang terbentuk ke posisi normalnya. Hal ini dilakukan karena *pointmesh* yang terbentuk kelihatan gelap pada sisi yang benar dan cerah ketika melihat sisi yang salah untuk membalik sisi tersebut maka menggunakan menu *flip pointmesh*.
7.  *Convert PointMesh to Surface* yaitu menu yang digunakan untuk mengubah *pointmesh* menjadi *surface*.

8.  *Load PointMesh* yaitu menu yang digunakan untuk *load pointmesh* kedalam *disk*.
9.  *Save PointMesh* yaitu menu yang digunakan untuk menyimpan *pointmesh*.
10.  *Export Contours* yaitu menu yang berfungsi untuk mengekspor kontur *pointmesh* yang terpilih kedalam suatu format yaitu *text file*, *2D DXF*, *3D DXF*.

Pembuatan model 3D dengan menggunakan *tools dense surface* memiliki langkah-langkah yang sama dengan pembuatan model 3D dengan *path mode* pada *point A* sebelumnya. Namun pada proses orientasinya dibutuhkan titik yang lebih banyak dibandingkan dengan metode *path*. Langkah pembuatan model 3D dengan *tools dense surface* model sebagai berikut.

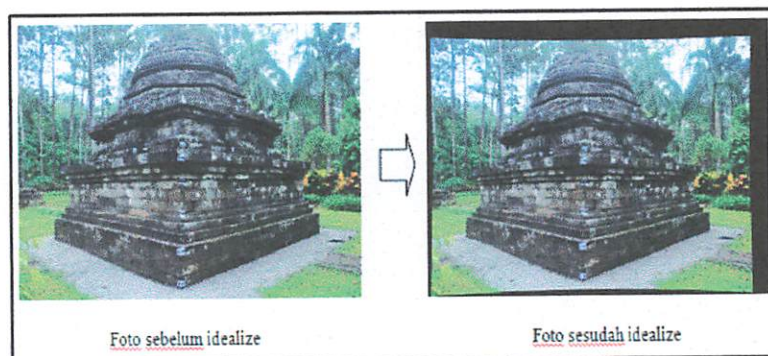
1. Aktif pada *software photomodeller scanner*. Pada kotak dialog *getting started* pilih menu *points based-project*, *Input* data foto hasil pemotretan model 3D, yang telah dilakukan pada sub bab III.2.3.1 berikut tampilan awal pembuatan model 3D dengan *photomodeller scanner*.



Gambar 3.14 : Langkah awal pembuatan model 3D

2. *Input data kalibrasi kamera, hasil proses pada sub bab III.2.3*

Selanjutnya melakukan proses *idealize* terhadap foto. *Idealize* merupakan menu tambahan pada *Software Photomodeler 6* yang mana berfungsi untuk mengidealisasikan antara *project* yang dibuat dengan parameter kalibrasi kamera yang sudah terkalibrasi untuk menghasilkan kamera dan gambar yang ideal. Kamera ideal yaitu kamera yang tidak memiliki distorsi lensa, pixel yang persegi, titik utama yang berpusat (*centered principal point*). Hal ini akan digunakan untuk mencocokkan gambar yang tidak terdistorsi dan kemudian menetapkan kamera yang ideal dalam sebuah *project*. Pilih *menu project* → *idealize project*, maka proses *idealize* akan berjalan. Berikut adalah gambaran foto yang telah di *idealize*.



Gambar 3.15 : *Idealize*

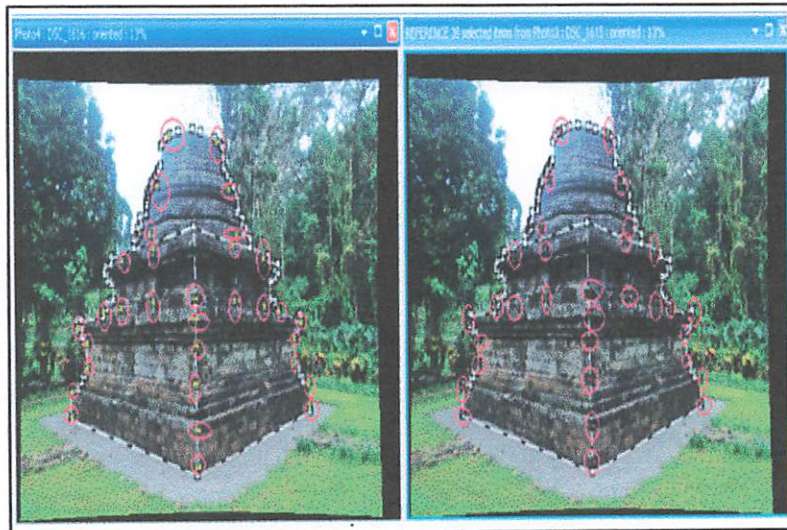
3. Setelah proses *idealize* dilakukan, langkah selanjutnya dibutuhkan proses orientasi yaitu menandai (*marking*) titik-titik pada objek (baik itu titik kontrol maupun titik-titik tambahan). Proses orientasi ini menggunakan *tool mark points mode*  , berikut ini adalah gambaran dari foto yang telah dilakukan orientasi.



Gambar 3.16 : Orientasi

4. Untuk menyamakan titik yang telah diorientasi antara foto satu dengan foto lainnya dibutuhkan proses *referencing*. Proses ini berfungsi untuk menandai dua atau lebih foto yang berbeda objek fisiknya tetapi berada didalam ruang yang sama. *Reference* hanya dapat digunakan pada *Project* multi foto. Dalam *project points multi* foto, *reference* merupakan sebuah langkah yang diperlukan untuk memastikan *project* ini akan memproses dengan benar untuk memastikan benda-benda dapat dihitung dengan posisi 3D. Proses *referencing* dilakukan dengan

menggunakan *menu referencing mode*  . Berikut ini adalah gambaran *referencing*.



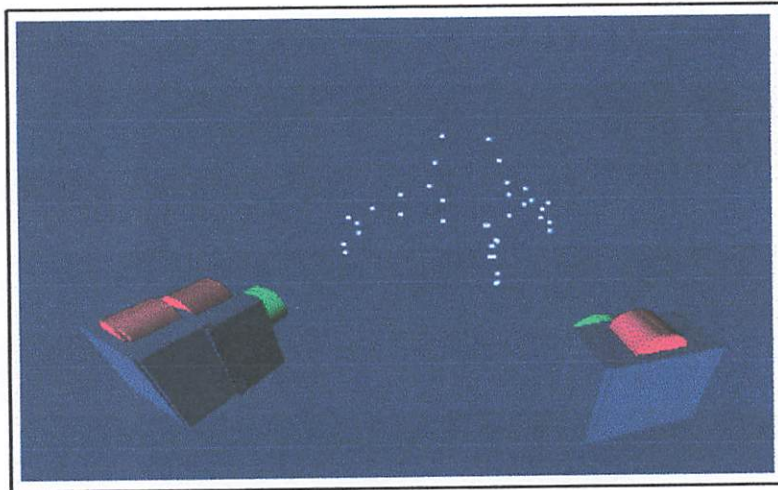
Gambar 3.17 : *Referencing*

5. Proses selanjutnya yaitu penentuan koordinat 3D, parameter *eksterior orientasi (EO)*, dan parameter *interior orientasi (IO)*, yang dikenal dengan proses *bundle adjustment*. Sebelum melakukan *processing* data dari multi foto, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi supaya proses ini dapat berjalan. Syarat tersebut diantaranya:

- ✓ Minimal foto yang diproses sebanyak dua buah.
- ✓ Jumlah titik yang direferensikan minimal 6 buah titik pada kedua foto tersebut.
- ✓ Titik-titik hasil orientasi yang akan diproses harus menyebar diarea foto, tidak hanya ditandai diarea tertentu saja.
- ✓ Jika terdapat lebih dari dua foto, foto ketiga dan seterusnya harus memiliki minimal satu titik yang direferensikan terhadap titik foto pertama dan foto kedua. Hal ini dimaksudkan foto

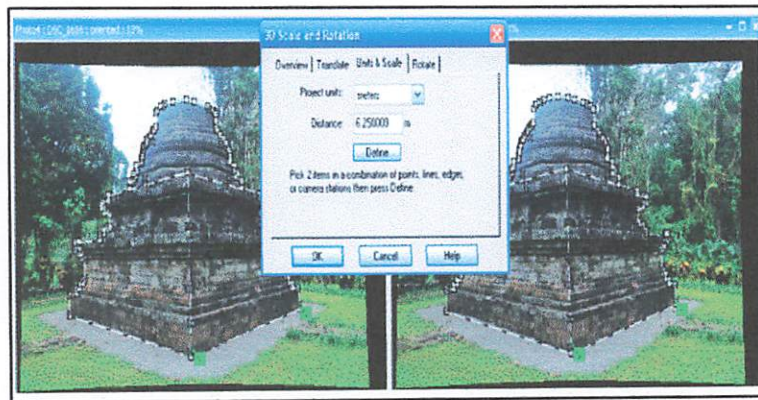
yang ketiga dan seterusnya dapat dijadikan referensi untuk foto lainnya.

6. Setelah syarat terpenuhi maka proses dapat dimulai, Proses ini menggunakan *tool process*  atau dengan menekan (F_5). Berikut ini adalah hasil dari proses *bundle adjustment* apabila dilihat dari *3D view*.



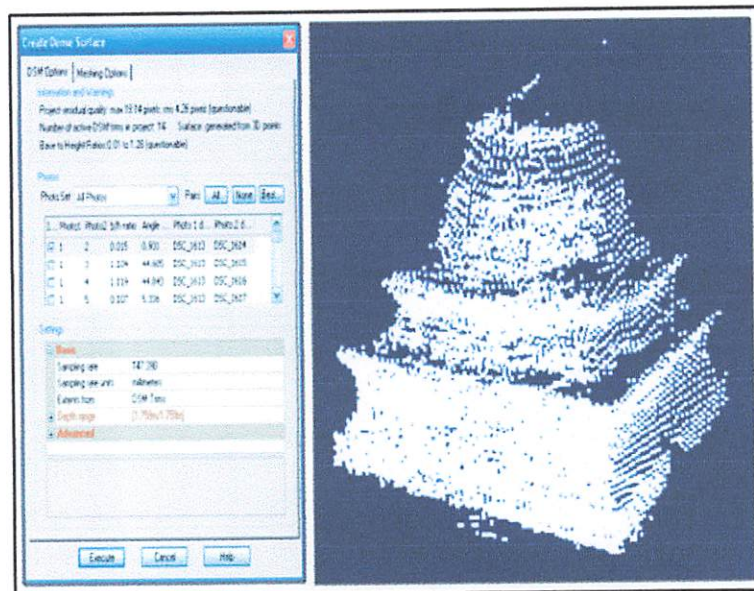
Gambar 3.18 : 3D view hasil bundle adjustment

7. Untuk mendapatkan ukuran model 3D yang sesuai dengan objek dunia nyata, dibutuhkan suatu proses penyekalaan. Secara teori proses ini digunakan untuk menentukan jarak antara dua titik, satu titik dengan satu *edge*, antara dua *edge*, antara *point* dan *station camera*, sehingga kita dapat menentukan jarak pada model yang dibuat. Dengan menggunakan *tool scale / rotate*  dan diketahui jarak antara dua titik kontrol maka ukuran dari objek 3D dunia nyata akan sama dengan yang dimodelkan. Berikut ini adalah gambaran dari proses penyekalaan.



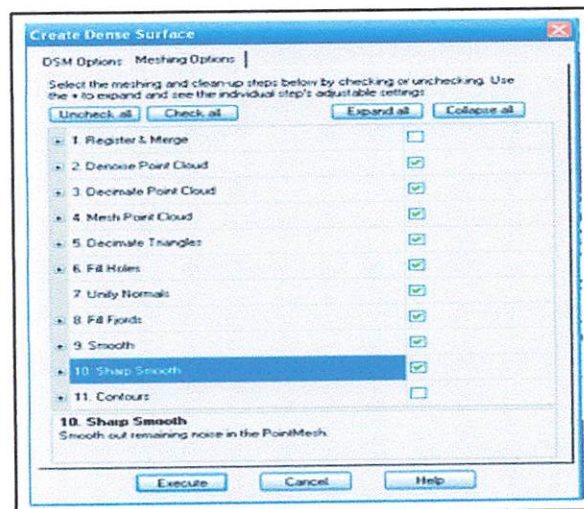
Gambar 3.19 : Penyekalaan

8. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan *pointmesh* dengan menggunakan menu *create dense surface*  dengan melakukan *execute* pada kotak dialog *create dense surface* maka akan menghasilkan *pointmesh* yang terlihat pada *3D view*. Berikut gambaran kotak dialog *create dense surface* dan hasil dari proses tersebut.



Gambar 3.20 : Pointmesh hasil dense surface

9. *PointMesh* yang terbentuk selanjutnya dikonversi menjadi *surface* yang berupa jaring-jaring segitiga (*TIN*) dengan menggunakan menu *modify pointmesh* . Didalam kotak dialog *pointmesh options* terdapat beberapa menu yang harus *disetting* (diatur) sesuai dengan kebutuhan. Berikut ini gambaran dari kotak dialog *pointmesh options*.



Gambar 3.21 : Kotak dialog *pointmesh options*

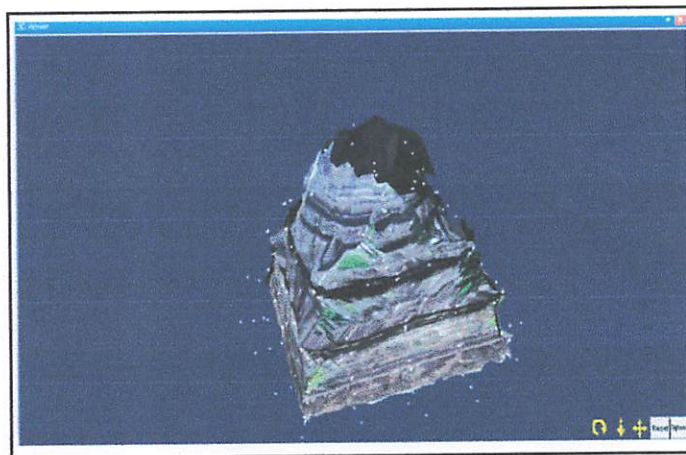
- **Register & merge** yaitu digunakan untuk mergistrasi atau menggabungkan dua atau lebih *point cloud* kedalam bentuk *pointmesh*.
 - a. *Merge only* jika dicentang maka langkah register dilewati dan data *point cloud* hanya digabungkan.
- **Denoise point cloud** yaitu mengurangi jumlah *noise* pada *point cloud*.
 - a. *Smoothing weight* digunakan untuk mengkontrol atau merapikan bagaian tepi supaya hasilnya menjadi halus. *Defaultnya* adalah 0.
 - b. *Number of iteration* yaitu banyaknya pengulangan perataan data untuk mendapatkan hasil yang halus. *Defaultnya* adalah 10.

- ***Decimate point cloud*** berfungsi untuk mengurangi jumlah *point cloud* tanpa harus mengurangi akurasi.
 - a. *Persentase* digunakan untuk menentukan berapa persen titik yang akan dihapus. Menghapus *point cloud* akan mempercepat proses *meshing* namun akan mengurangi jumlah segitiga yang dihasilkan. *Defaultnya* adalah 10%.
- ***Mesh point cloud*** digunakan untuk mengkonversi *point cloud* menjadi segitiga *mesh*.
 - a. *Noise level* yaitu metode yang digunakan untuk mengontrol *noise point cloud*. *Hight noise* berfungsi untuk mengatur *mesh* yang masih dapat dihasilkan dari *point cloud* yang memiliki *noise*. *Defaultnya* adalah *medium noise*.
- ***Decimate triangle*** berfungsi untuk mengurangi jumlah segitiga pada *pointmesh* dengan tetap menjaga geometri asli.
 - a. *Persentase* merupakan persentase segitiga yang dihapus untuk mempercepat *texturing* atau *render 3D*.
 - b. *Preserve boundary* jika dicentang maka jumlah *pointmesh* tidak akan berkurang.
- ***Fill holes*** yaitu mengisi yang dikelilingi *pointmesh* dari semua sisi.
 - a. *Size* yaitu ukuran jari jari lubang yang akan ditutup dalam satuan sesuai skala *project*.
 - b. *Is Open* tidak dicentang supaya menghasilkan objek yang tertutup.
- ***Unify normal*** menyatukan semua jaring-jaring segitiga.
- ***Fill fjord***

- a. *Angle* digunakan untuk mendefinisikan sudut maksimum dari *vertex*, untuk membuat segitiga baru.
- *Smooth* digunakan untuk mengurangi *noise* sehingga *pointmesh* yang terbentuk menjadi halus.
- *Sharp Smooth* digunakan untuk menghaluskan *noise* sambil menjaga ketajaman pada tepi.
- *Contours* berfungsi untuk membuat garis kontur secara teratur dipermukaan.

Setelah dilakukan pemilihan seperti Gambar 3.19, dipilih perintah *execute*. Pada Gambar 3.20, merupakan hasil dari proses konversi *pointmesh* menjadi *surface* berupa jaring-jaring segitiga (*TIN*) pada salah sisi bangunan candi.

10. *Surface* yang terbentuk dari *pointmesh* selanjutnya dikonversi hingga terbentuk permukaan yang solid dengan menggunakan menu *convert pointmesh to surface* . Berikut ini hasil dari proses *convert pointmesh to surface* pada salah satu sisi bangunan candi.



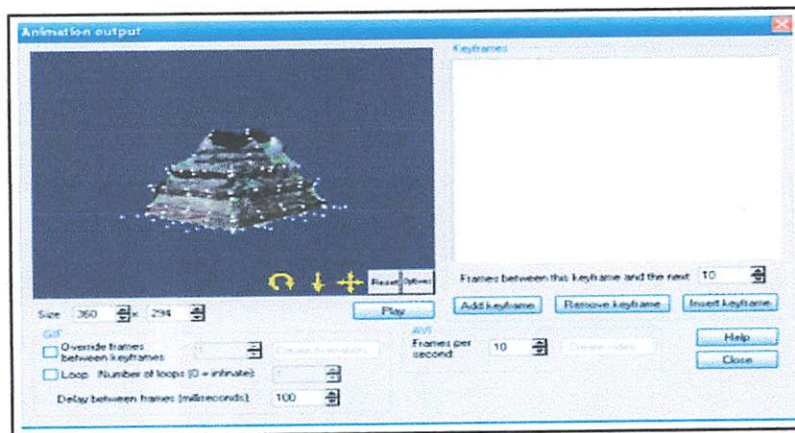
Gambar 3.22 : Model 3D dari *pointmesh*

III.2.5.2 Pembuatan Video Animasi 3d Software PhotoModeler

Scanner v.6

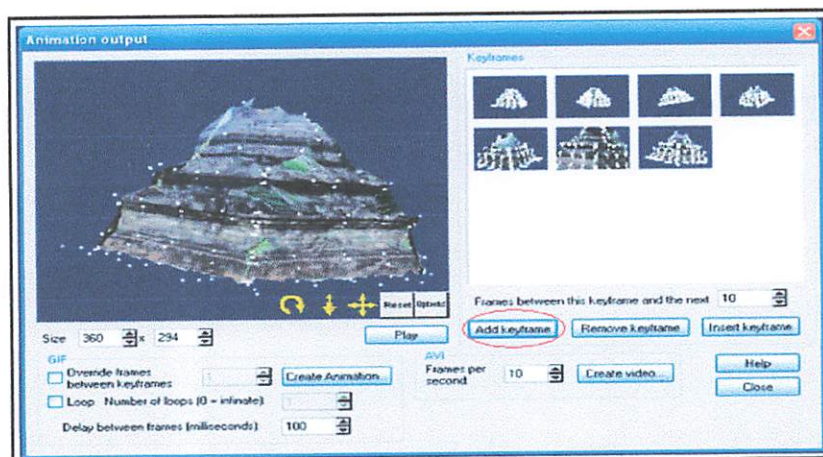
Setelah model 3D terbentuk didalam software photomodeller,
dipilih menu *file* → *exports* → *exports 3D Viewer Animation* → OK.

1. Berikut ini adalah adalah gambaran kotak dialog *3D Viewer Animation*.



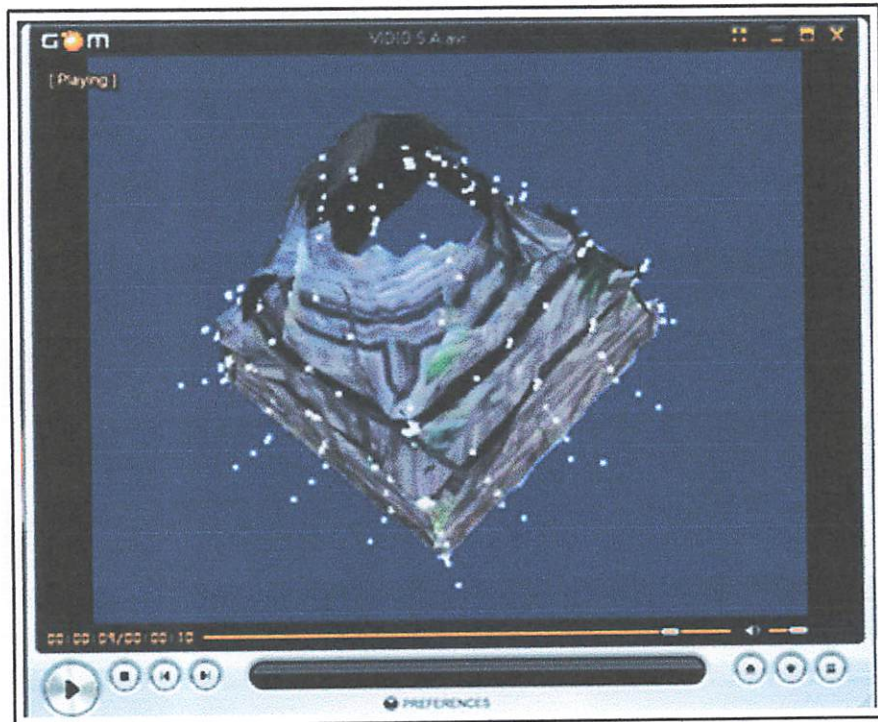
Gambar 3.23 : 3D Viewer Animation

2. Dilakukan pembuatan *keyframe*, dengan cara menggerakkan gambar menggunakan rotate  setelah itu pilih tombol *Add Keyframe* pada menu *Animation Output*.



Gambar 3.24 : Pembuatan keyframe

3. Setelah *frame* sudah dibuat langkah selanjutnya pilih *Create Video* dan save file, kemudian akan muncul tampilan *Video Compression* pilih *Xvid Mpeg-4 Codec* dan *Ok*. Berikut adalah tampilan *Create Video*.



Gambar 3.25 : Tampilan Hasil Create Video

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

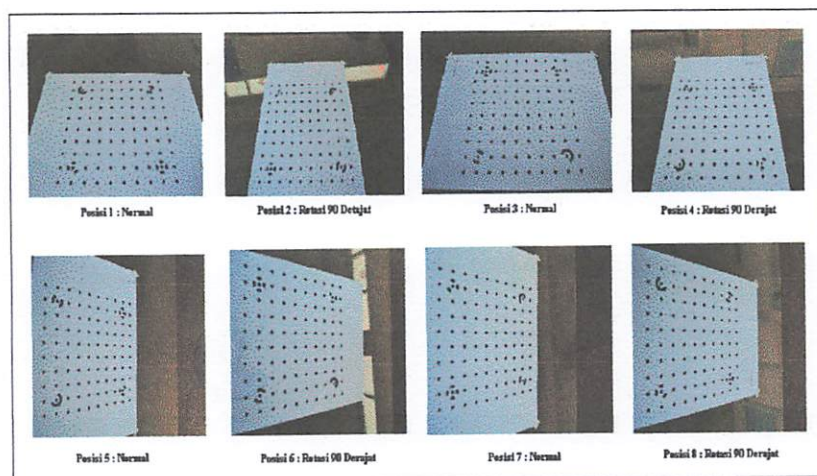
Untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari hasil penelitian yang dicapai dari penelitian yang berjudul “Pembuatan Model *Animasi 3D Virtual* dengan Teknik *Close Range Photogrammetry* Dalam Software *PhotoModeler V.6*” yaitu terbangunnya model 3D Candi Sumber Awan Malang. Perlu dilakukan proses analisa atau pembahasan dari sebuah hasil yang telah dicapai selama proses pelaksanaan penelitian.

Parameter keberhasilan dapat di ukur dengan membandingkan tujuan dari penelitian dan hasil yang dicapai. Adapun beberapa parameter yang telah dihasilkan selama pelaksanaan penelitian akan disajikan secara ringkas dan jelas dalam bab ini.

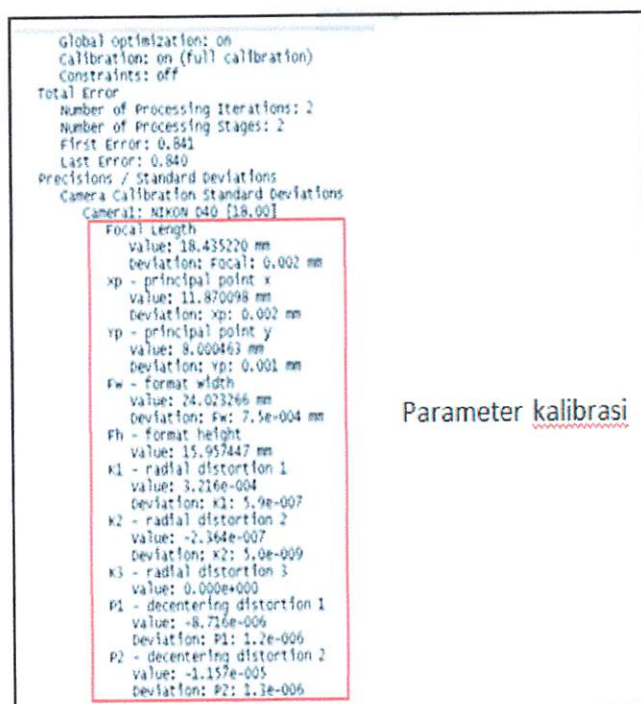
IV.1. Parameter Kalibrasi Kamera

Parameter kalibrasi kamera diperoleh dari pemrosesan data foto *template kalibrasi*, dengan jumlah foto minimal yang digunakan didalam pemrosesan sebanyak minimal 6 buah. Dalam penelitian ini jumlah foto yang diproses untuk menentukan parameter kalibrasi kamera yaitu sebanyak 8 buah. Dalam pelaksanaanya metode kalibrasi kamera yang digunakan dalam penelitian ini termasuk metode *laboratory calibration* yaitu kalibrasi yang dilakukan dilaboratorium, terpisah dengan proses pemotretan objek. Dari proses kalibrasi ini diperoleh sepuluh parameter kalibrasi yaitu panjang fokus kamera (c), *pricipal*

point (X_p , Y_p), format wide (F_w), dan format height (F_h), distorsi radial (K_1, K_2, K_3), distorsi tangensial (P_1, P_2). Berikut ini gambaran hasil foto pemotretan *template* kalibrasi beserta parameter kalibrasi hasil proses kalibrasi kamera.



Gambar 4.1 : Data foto Nikon D40 untuk kalibrasi (sumber: hasil penelitian)



Gambar 4.2 Parameter hasil kalibrasi kamera (sumber: hasil penelitian)

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 4.1 : Nilai parameter hasil kalibrasi kamera Nikon D-40, $f=18\text{ mm}$

No	Parameter	Nilai	Standart Deviasi
1	<i>Focal length (c)</i>	18.435220 mm	0.002 mm
2	<i>Principal point x (xp)</i>	11.870098 mm	0.002 mm
3	<i>Principal point y (yp)</i>	8.000463 mm	0.001 mm
4	<i>Format width (fw)</i>	24.023266 mm	7.5e-004 mm
5	<i>Format height (fh)</i>	15.957447 mm	-
6	<i>Radial distortion 1 (K₁)</i>	2.506e-004	2.506 e-004
7	<i>Radial distortion 2 (K₂)</i>	3.216e-004	-
8	<i>Radial distortion 3 (K₃)</i>	0.000e+000	-
9	<i>Decentering distortion 1 (P₁)</i>	-8.716e-006	1.2e-006
10	<i>Decentering distortion 2 (P₂)</i>	-1.157e-005	1.3e-006

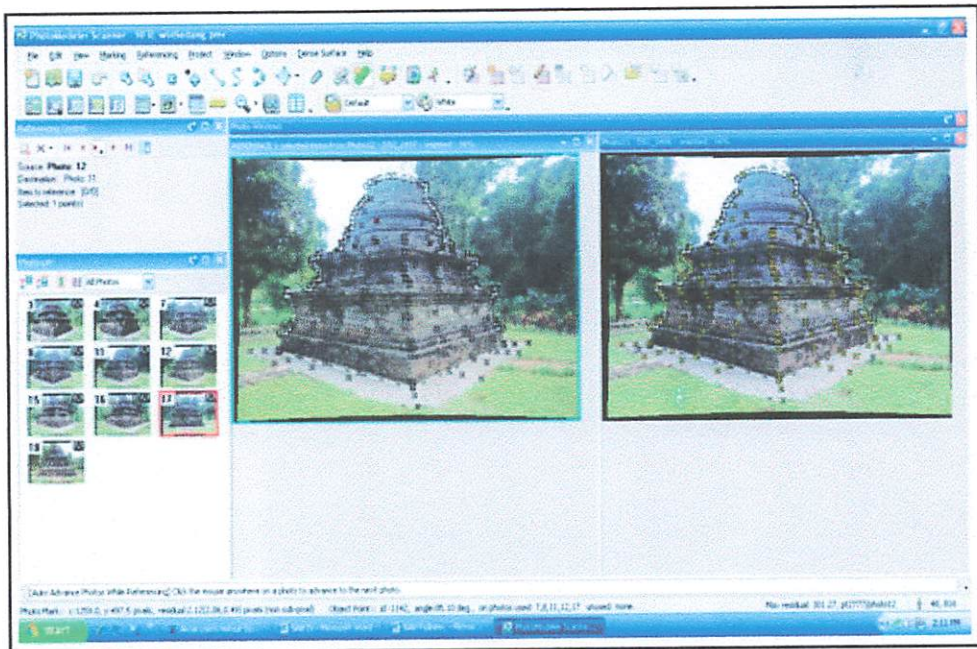
Data yang berupa parameter kalibrasi ini selanjutnya digunakan untuk melakukan pemrosesan didalam *software photomodeller scanner*. Didalam *software photomodeller* data hasil pemotretan objek yang berupa candi sumber awan selanjutnya dikoreksi dengan parameter kalibrasi kamera untuk menghilangkan distorsi yang ada, proses ini disebut *idealize*. Berikut adalah hasil dari proses *idealize* dari salah satu sisi, untuk sisi-sisi yang lainnya hasilnya terlampir.



Gambar 4.3 : Foto hasil *idealize* (sumber: hasil penelitian)

IV.2. Relatif Orientasi

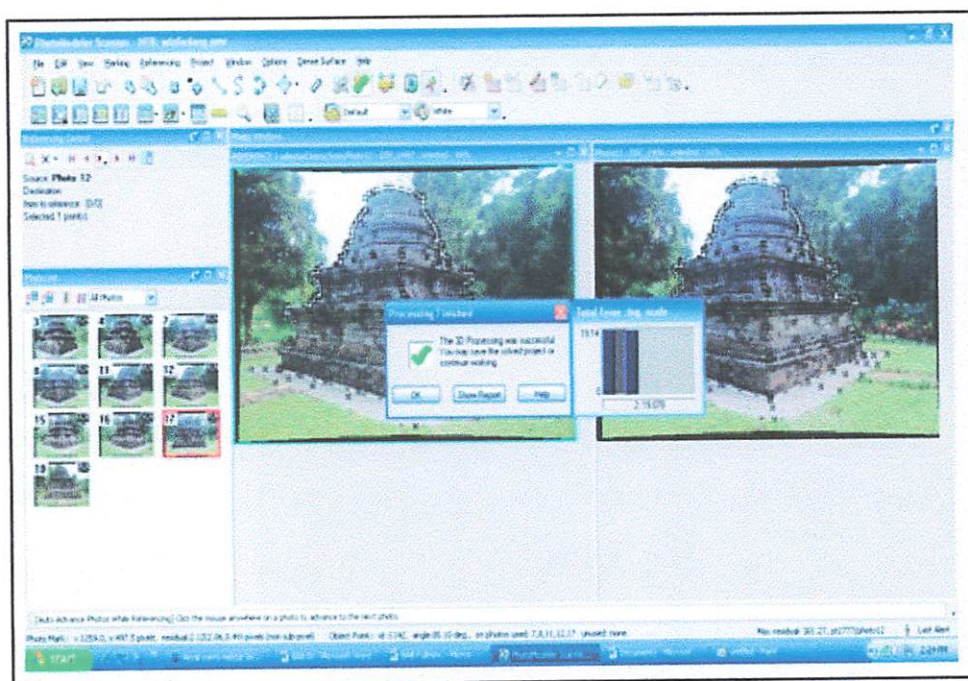
Pada proses relatif orientasi dibutuhkan minimal dua buah foto, dimana salah satu fotonya sebagai acuan yang digunakan untuk proses perhitungan nilai posisi, proses ini dilakukan dengan cara memberikan nilai posisi dan orientasi untuk foto pertama, kemudian dilakukan proses perhitungan nilai posisi dan orientasi pada foto kedua menggunakan parameter dari posisi kamera pertama dan koordinat foto dari kedua buah foto. Dalam proses proses relatif orientasi ini tidak menghasilkan nilai posisi dan orientasi dari foto yang sebenarnya, yaitu menetapkan beberapa parameter *Eksterior Orientasi* (EO), dari koordinat objek 3D (X_i , Y_i , Z_i).



Gambar 4.4 : Proses Relatif Orientasi (Proses Referencing) (sumber: hasil penelitian)

IV.3. Resection

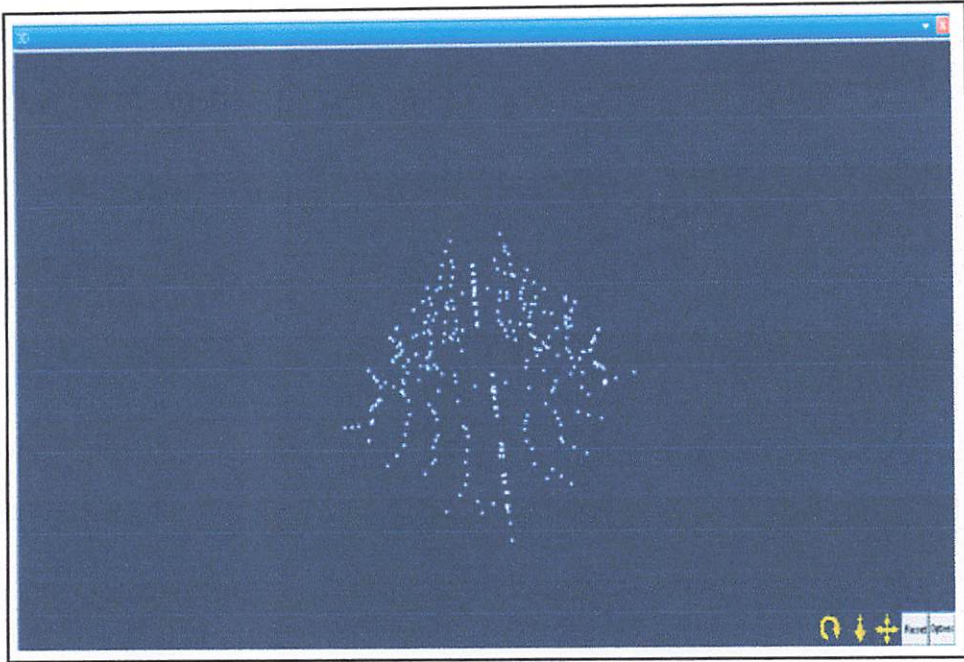
Pada proses ini dibutuhkan data yang telah terlinierisasi, sehingga proses *resection* untuk mencari 6 parameter orientasi luar bisa dilakukan. Untuk mendukung proses tersebut, penelitian ini menggunakan *software photomodeler scanner* guna untuk mencari parameter *Exterior Orientation* (EO)



Gambar 4.5 : Proses Resection 10 foto (sumber: hasil penelitian)

IV.4. Intersection

Intersection adalah salah satu teknik yang digunakan secara umum untuk menentukan koordinat titik-titik object (X,Y,Z) yang terdapat pada daerah pertampalan dari dua buah foto yang telah diketahui parameter interinsik dan parameter eksterinsiknya (*Geosystem, 2006b*).



Gambar 4.6 : Proses Intersection Complete (sumber: hasil penelitian)

IV.5. Bundle Adjustment

Dari proses pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan software *Photomodeler Scanner*, *bundle adjustment* dapat dilakukan setelah melakukan relatif orientation, close form space resection, intersection, untuk melakukan proses *bundle adjustment* dibutuhkan minimal 5 foto.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.2 : Nilai Koordinat dari proses Bundle Adjustment.

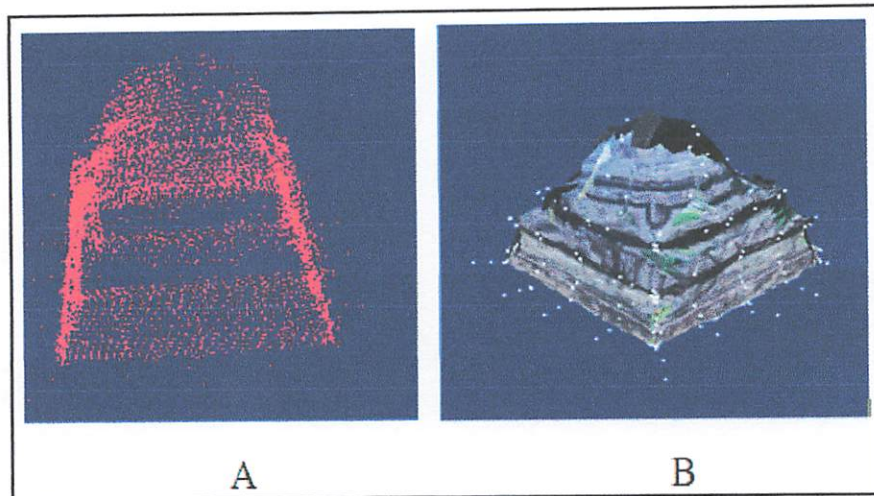
No	Foto	Koordinat (m)			Koordinat Presisi (m)			RMS
		X	Y	Z	XP	YP	ZP	
1	3,4,7,8	-0.45224154	-2.00129327	-2.772711973	0.061762925	0.031087	0.061638	2.916219
2	3,4,7,8	-0.44811495	-1.58294661	-2.737391321	0.063220293	0.02919	0.062605	1.55394
3	3,4,7,8	-0.4526271	-1.42529765	-2.949672516	0.061352599	0.029125	0.062287	1.299364
4	3,4,7,8	-0.42795499	-0.82881923	-3.212599254	0.060343286	0.029231	0.061689	0.554822
5	3,4,7,8	-0.47608169	-0.592536	-3.085804564	0.062386209	0.029279	0.061672	0.975084
6	3,4,7,8	-0.48565197	-0.5021853	-2.977614563	0.064019362	0.029342	0.061685	1.104067
7	3,4,7,8	-0.501098	-0.24881165	-2.823220969	0.067166914	0.030015	0.061349	1.922663
8	3,4,7,8	-0.48165117	-0.00146131	-3.613873275	0.058880541	0.03153	0.060418	1.630147
9	3,4,7,8	-0.48488289	0.127639038	-3.734419364	0.058223457	0.032136	0.060254	2.147764
10	3,4,7,8	-0.4805267	0.269390411	-3.909017981	0.057279612	0.032887	0.060147	1.815731
11	3,4,7,8	-0.49627215	0.479336331	-3.876272831	0.058099711	0.033687	0.059739	2.348994
12	3,4,7,8	-0.49097559	0.62368614	-3.682953368	0.060366158	0.034091	0.059138	2.540332
13	3,4,7,8	-0.51653538	0.814438242	-3.528904316	0.062860852	0.035001	0.058522	2.933299
14	3,4,7,8	-0.51474326	0.991315741	-3.792454831	0.060725323	0.036073	0.058502	2.765578
15	3,4,7,8	3.64389704	-0.97739503	-6.589792074	0.071844348	0.061801	0.120608	2.582032
16	3,4,7,8	3.481585265	-0.88009288	-6.647842416	0.072163003	0.05973	0.117577	1.536388
17	3,4,7,8	3.381353393	-0.73454723	-6.663057014	0.071796034	0.057991	0.115681	0.688475
18	3,4,7,8	3.210981006	-0.31027606	-6.628032821	0.069608789	0.054252	0.112281	0.820836
19	3,4,7,8	3.270460273	-0.06579137	-6.610166117	0.068404196	0.0536	0.113459	1.062437
20	3,4,7,8	3.345838414	0.061122285	-6.579189295	0.067614504	0.053652	0.11487	1.135209

IV.6. Meshing Dan Texturing Surface

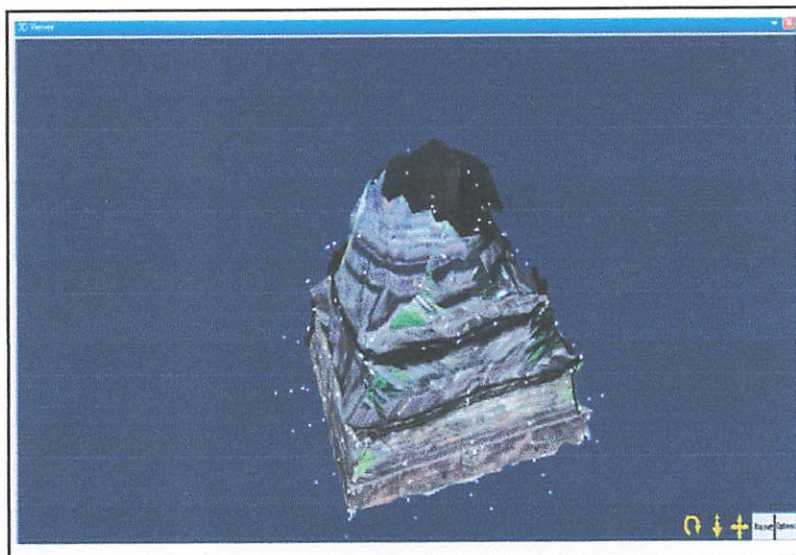
Dalam pengolahan untuk membentuk model 3D dilakukan dengan menggunakan metode *dense surface model (DSM)* beserta nilai *rms* dari masing masing titik hasil proses orientasi.

Pada table 4.2 diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah titik yang diorientasikan dan foto yang digunakan untuk membangun model 3D sebanyak 16 Buah, menghasilkan koordinat objek yang presisi, dengan nilai standart deviasi kurang dari 1 atau dengan kata lain pengukurannya teliti. Selain itu model 3D

yang dihasilkan mempunyai skala. Berikut gambaran model 3D yang telah memiliki dimensi.



Gambar 4.7: Model 3D Candi Sumberawan (A). PointMesh (B). Mesh Point Cloud dan Texture (sumber: hasil penelitian)



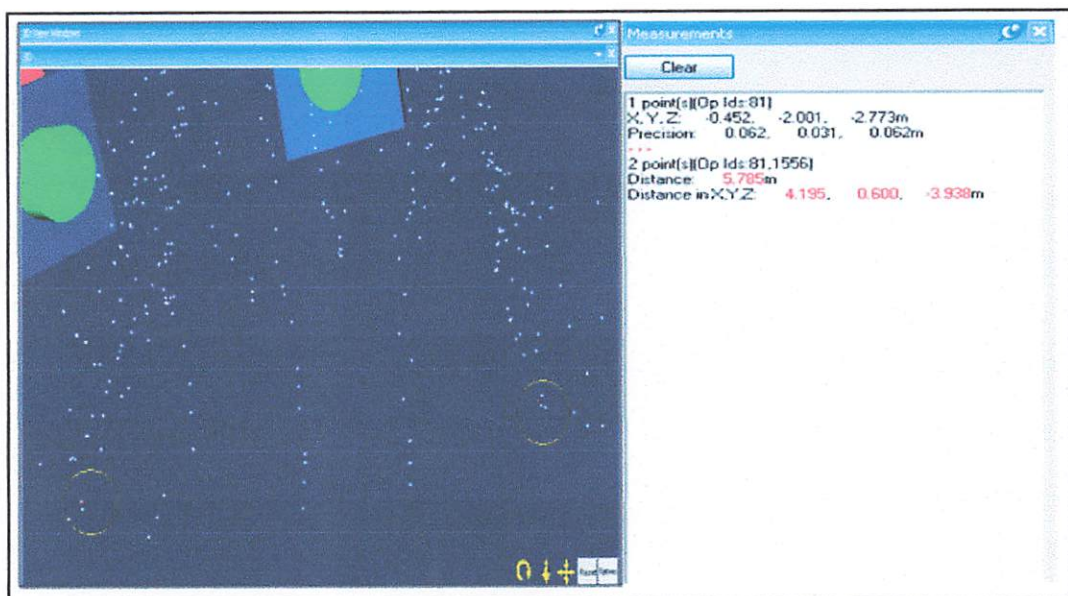
Gambar 4.8 : Model 3D Candi Sumberawan (sumber: hasil penelitian)

IV.7. Pengecekan Dimensi Model 3D

Proses penentuan dimensi dapat dilakukan dengan memberikan ukuran sebenarnya terhadap model yang terbentuk. Besaran dimensi hanya diberikan terhadap salah satu sisi saja untuk sisi yang lainnya secara otomatis mengikuti. Berikut data ukuran lapangan yang digunakan untuk mengecek benar salahnya pemberian besaran dimensi yang telah dilakukan terhadap model 3D.

Tabel 4.3 : Hasil ukuran panjang objek untuk skala

No	Nama Line	Ukuran (m)
1	Line 1	5.80
2	Line 2	5.80
3	Line 3	5.80
4	Line 4	5.80



Gambar 4.9 : Model 3Dimensi terskalakan dan Cek Dimensi (sumber: hasil penelitian)

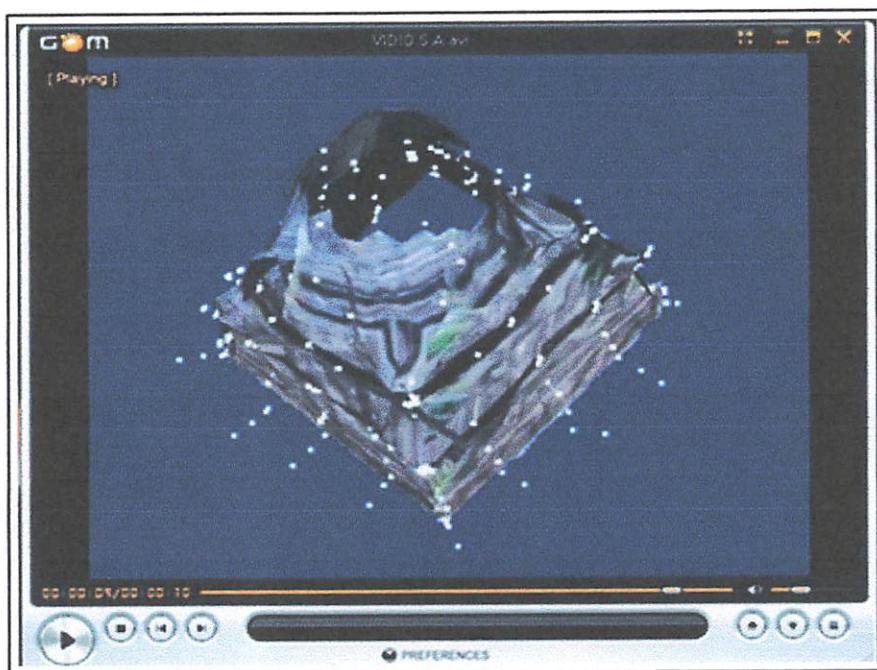
Dari data ukuran lapangan dan dimensi model 3D candi yang terbentuk mempunyai nilai ukuran yg sama. Berikut ini merupakan perbandingan antara data ukuran lapangan dengan dimensi model 3D candi yang terbentuk.

Tabel 4.4 : Data ukuran dan dimensi model 3D

No	Nama Line	Ukuran Lapangan (m)	Dimensi Model 3D (m)	Selisih (mm)
1	<i>Line 1</i>	5.80	5.785	- 0.015
2	<i>Line 2</i>	5.80	5.758	- 0.042
3	<i>Line 3</i>	5.80	5.853	+ 0.053
4	<i>Line 4</i>	5.80	5.820	+ 0.020

IV.8. Hasil Ekport Model 3D Viewer Animation

Model 3D yang terbentuk didalam *software photomodeller scanner* harus diekspori kedalam bentuk *file *.Avi / Video*. hal ini dimaksudkan agar model dapat di *Videokan*. Ekspori data kedalam bentuk **.Avi* ini tidak mengalami perubahan ukuran jika dibuka didalam media *MP4*, dan model *Animasi 3D Virtual* yang terbentuk sesuai dengan model 3D. Berikut ini merupakan gambaran dari model *Animasi 3D Virtual* hasil ekspori data ke dalam **.Avi*, yang dibuka didalam *software MP4 / GOM Player*.



Gambar 4.10 : Hasil ekport model 3D kedalam format file **.Avi* (sumber: hasil penelitian)

IV.9. Kendala Yang Dihadapi Selama Penelitian

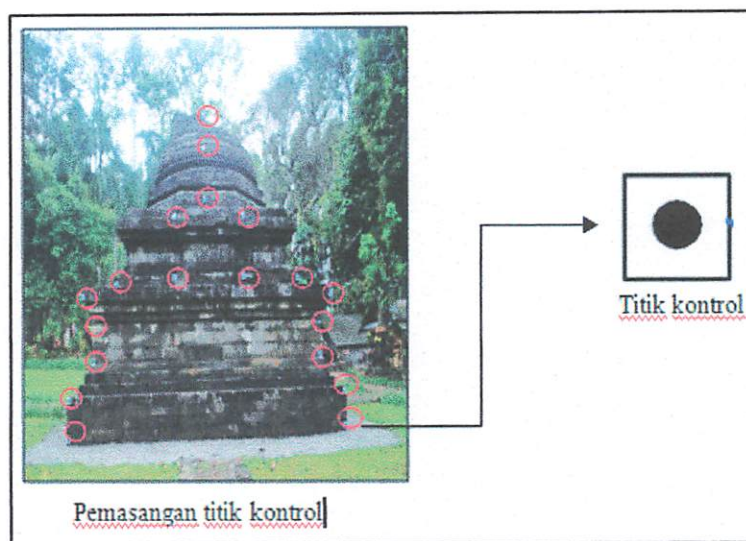
IV.9.1. Kalibrasi Kamera

Pelaksanaan kalibrasi kamera, di dalam pemrosesannya terkadang terdapat kegagalan (*error*), hal ini disebabkan karena semua titik kontrol dari grid-grid *template* kalibrasi tidak dapat diproses ataupun ada salah satu atau beberapa titik grid yang tidak terekam oleh kamera. Selain itu bisanya disebabkan karena adanya lekukan pada *template* kalibrasi. Untuk mengatasinya sebelum melakukan pemotretan dipastikan terlebih dahulu pemosisian *template* kalibrasinya diatas bidang datar dan dipastikan tidak ada penghalang ketika dilakukan pengambilan data. Jika prosesnya belum berhasil maka dilakukan pemotretan ulang sampai hasil pemotretan tersebut dapat diproses hingga berhasil didalam *software photomodeller v.6*.

IV.9.2. Pemasangan Titik Kontrol

Pemasangan titik kontrol baiknya dipasang pada area yg terjadi perbedaan *surface* dan sebaiknya dipasang pada area yang dapat terlihat oleh semua posisi pemotretan. Sebaiknya titik kontrol dipasang seperlunya, tidak terlalu banyak dan tidak terlalu sedikit. Jika terlalu banyak maka titik kontrol tersebut dapat menutupi *surface* tersebut, tetapi jika titik kontrol yang dipasang terlalu sedikit, maka akibatnya akan lebih fatal yakni kurangnya titik kontrol yang menyebabkan kegagalan terbentuknya 3D tersebut. Keberhasilan bentuk 3D, dalam kasus ini terlihat 4 sisinya, sangat bergantung dari banyaknya titik kontrol yang sama, sehingga dapat direferensikan dan ketika diproses dapat membentuk hasil yang baik. Titik kontrol yang

terpasang di sisi pojok bidang digunakan sebagai acuan untuk penyekalaan. Sedangkan yang digunakan didalam proses orientasi untuk pembuatan model 3D berupa titik-titik yang terdapat di candi tersebut misalnya tepi candi, lekukan candi, dan tanda lain yang terdapat pada dinding candi yang dapat dijadikan referensi dalam proses orientasi. Berikut ini adalah pemasangan titik kontrol pada candi.



Gambar 4.11 : Pemasangan titik control (sumber: hasil penelitian)

IV.9.3. Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan terdapat kendala berupa ukuran objek yang akan dijadikan model 3D, dimana ukuran objeknya terlalu besar dan tidak dapat difoto secara utuh, dalam kasus ini sebenarnya ukuran candi sumber awan ini terlalu besar dan terlalu tinggi, sehingga mengakibatkan kesulitan pemotretan pada bagian atas bangunan candi. Ini sangat berpengaruh sekali terhadap hasil pembentukan 3D, karena foto bagian atas bangunan candi tidak bisa diambil. Sehingga bentuk surface 3D pada bagian atas tidak

terbentuk dan sisi – sisi bagian atasnya menjadi kurang baik, karena kurangnya titik kontrol yang direferensikan.

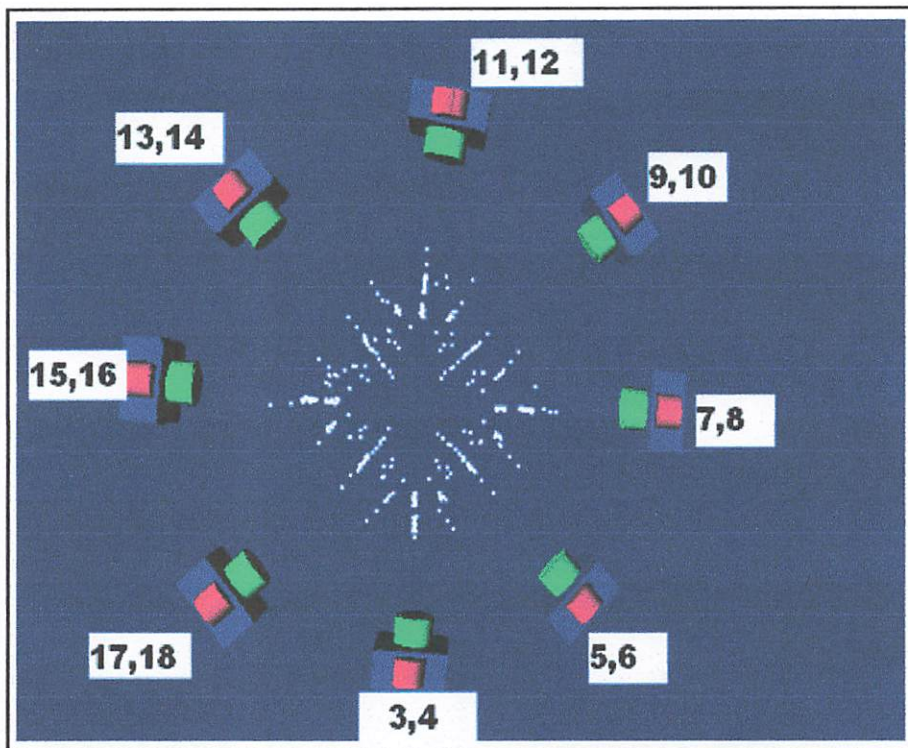
Dalam kasus ini, sisi yang tidak dapat difoto secara utuh terbantu oleh foto yang dilakukan dari sisi yang lain. Oleh karena itu pengambilan datanya harus dilakukan terhadap masing-masing sisi, hal ini dimaksudkan supaya memperoleh hasil data foto yang bertampalan sehingga mempermudah dalam pembuatan model 3D didalam *software*. Dari data foto yang berupa sisi-sisi tersebut selanjutnya diolah didalam *software photomodeller scanner v.6*. hingga terbentuk model 3D yang berupa sisi-sisi. Berikut merupakan gambaran pemotretan sisi-sisi prasasti untuk dijadikan model 3D.



Gambar 4.12 : Pemotretan Candi Sumber Awan tiap sisi (sumber: hasil penelitian)

Model 3D yang terbentuk terkadang memiliki *surface* yang tidak tegak lurus / rata. Hal ini dikarenakan ketika melakukan proses *referencing*, foto yang dijadikan referensi bukan foto yang tegak lurus atau foto yang diambil tidak (90°) terhadap posisi objek. Solusi untuk megatasinya maka pengambilan data foto dilakukan tegak lurus (90°) terhadap posisi objek untuk minimal salah satu fotonya.

Foto tersebut selanjutnya dijadikan referensi ketika melakukan *processing* data didalam *software photomodeller*. Untuk foto yang lainnya pengambilan datanya dapat dilakukan (30°), (45°), dan (60°) dari posisi objek baik dari sisi kanan maupun sisi kiri. Yang terpenting dalam pengambilan data masing-masing foto memiliki pertampalan untuk objek yang akan dijadikan model 3D atau dengan kata lain objek yang akan dijadikan model 3D terlihat di masing masing foto. Berikut ini merupakan ilustrasi pengambilan data foto.



Gambar 4.13 : Ilustrasi pengambilan data (sumber: hasil penelitian)

Dari gambar 4.12 tersebut data foto hasil pemotretan dengan jarak kamera ke objek 3 meter dan fokus kamera 18 mm, dari *station camera 3*, *station camera 7*, *station camera 11*, *station camera 15* dijadikan referensi

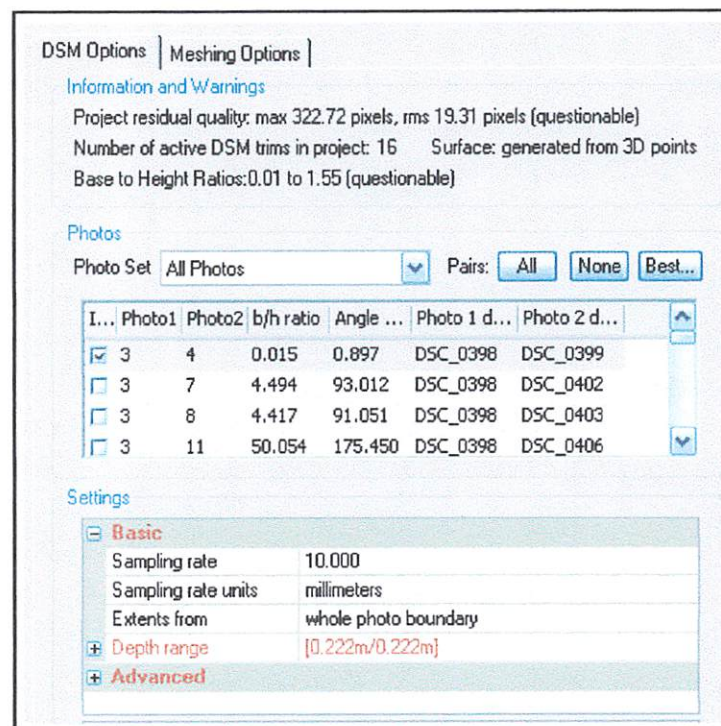
untuk data foto yang diambil dari *station camera* yang lain ketika dilakukan proses *referencing* didalam *software photomodeller scanner v.6*.

IV.9.4. Proses *Create Dense Surface*

Dalam proses *Create Dense Surface* terdapat dua langkah yaitu *DSM option* dan *Meshing option*. diperlukan banyak foto agar *Meshing* yang dihasilkan merata dan *Texture* yang di hasilkan bagus.

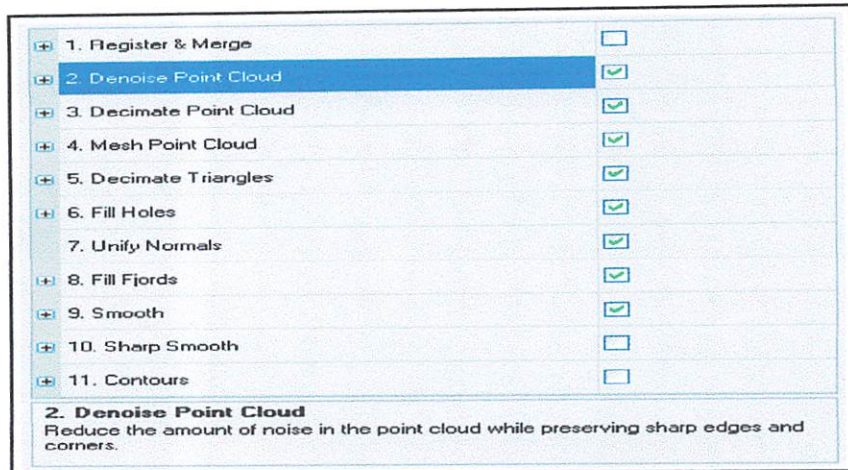
1. ***DSM Option*** : Untuk memodelkan permukaan objek menjadi padat.

Dalam proses *DSM option* harus memilih foto-foto mana yang akan diproses dengan mencetangnya dan mengatur *sampling rate* dan *sampling unit* seperti *Gambar 4.14*.



Gambar 4.14: Tampilan *DSM Option* (sumber: hasil penelitian)

2. *Meshing Option* : Menghubungkan titik-titik menjadi *surface*



Gambar 4.15 : Tampilan *Meshing option* (sumber: hasil penelitian)

Jika foto yang diproses *create dense surface* terlalu banyak, pemrosesan untuk menjadikan foto tersebut padat terlalu lama dan *software* yang dijalankan *terclose* dengan sendirinya.

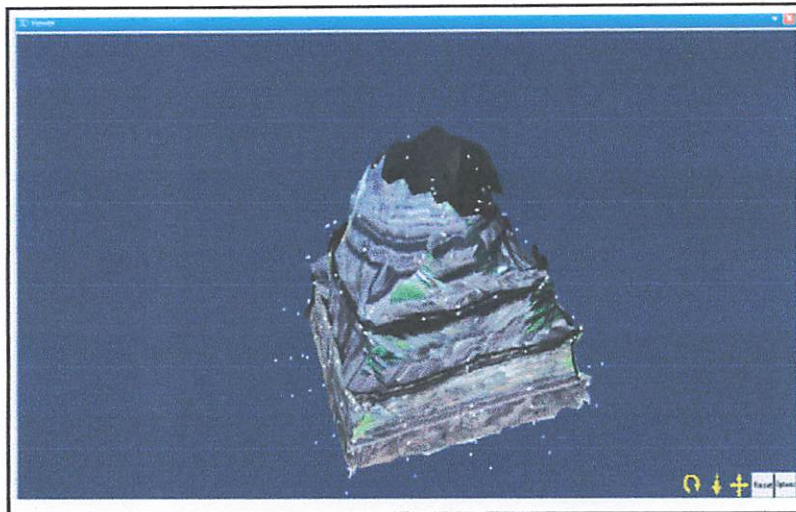
Hal tersebut dikarenakan spesifikasi perangkat keras (laptop) yang dipakai terlalu rendah, sehingga tidak memungkinkan untuk melakukan proses *create dense surface* jika foto yang kita proses terlalu banyak. Untuk mengatasinya, sebelum melakukan proses *create dense surface* kita memilih foto sesuai dengan pertampalan yang diperlukan dan pemrosesanya dilakukan per dua foto.

IV.9.5. Hasil *Create Dense Surface* 12 foto dan 16 foto.

Hasil dari *Create Dense Surface* antara 12 foto dan 16 foto menggunakan *Software PhotoModeler scanner V.6* terjadi perbedaan untuk *surface* yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya Hasil dari *Create Dense Surface* antara 12 foto dan 16 foto bisa dilihat pada sub.bab berikutnya.

IV.9.5.1 Hasil *Create Dense Surface* dari 12 foto

Hasil *Create Dense Surface* dari 12 foto *surfacenya* terbentuk. Surface yang dihasilkan tidak rata dikarenakan kurangnya foto yang diproses. Seperti gambar dibawah ini : untuk daerah terlingkar, hasilnya tidak rata karena pertampalan fotonya kurang.



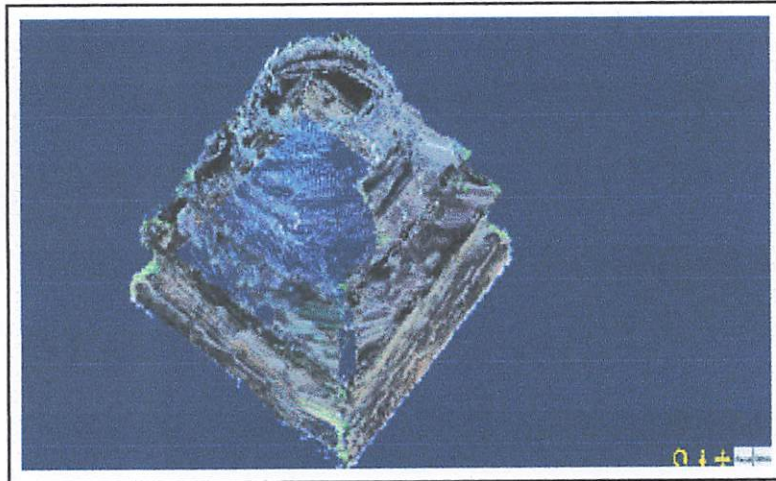
Gambar 4.16 : Tampilan hasil create dense surface 12 foto
(sumber: hasil penelitian)

IV.9.5.2 Hasil *Create Dense Surface* dari 16 foto

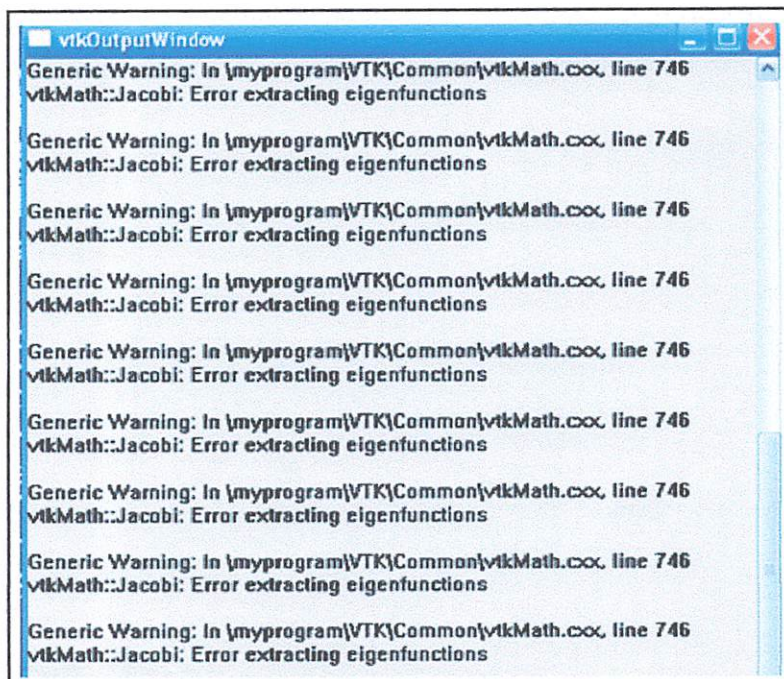
Hasil *Create Dense Surface* dari 16 foto *surfacenya* tidak terbentuk. Surface yang dihasilkan tidak rata dan ada bagian sisi yang *surfacenya* tidak terbentuk. dikarenakan foto yang diproses banyak, sehingga terjadi *error extraction eigenfunctions* pada *Software PhotoModeler scanner V.6*.

Kesalahan *error extraction eigenfunction* disebabkan karena terlalu banyak titik yang akan dijadikan surface, sehingga *vtkMath.cxx* pada program *Software Photomodeler Scanner v.6*. *error*. Solusinya kita

harus memproses di *Software Photomodeler Scanner* versi terbaru dan menggunakan perangkat keras / laptop dengan spesifikasi yang tinggi.



*Gambar 4.17 : Tampilan hasil create dense surface 16 foto
(sumber: hasil penelitian)*



*Gambar 4.18 : Tampilan error extraction eigenfunctions
(sumber: hasil penelitian)*

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian yang berjudul *“Pembuatan Model 3 Dimensi (3D) Virtual Dengan Teknik Close Range Photogrammetry Bermetodekan Dense Surface”* diantaranya sebagai berikut:

1. Pembuatan Model 3D suatu objek dapat dilakukan dengan menggunakan data-data foto. Kamera yang digunakan untuk mengambil data foto tersebut yaitu menggunakan kamera *Digital Single-Lense Reflex DSLR*, yang mana sebelum dilakukan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi terhadap kamera. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan distorsi pada data foto saat pemrosesan data. Distorsi pada foto tersebut disebabkan oleh kesalahan kamera, karena kamera yang digunakan bukan termasuk kamera metrik.
2. Pengambilan data foto dapat dilakukan dengan kamera diletakkan diatas kaki kamera (tripod) atau langsung dipegang oleh tangan. Data foto yang diambil untuk dijadikan model 3D tiap sisi-sisi candi minimal 2 buah (bertampalan).
3. Data foto yang dapat diolah untuk menjadi model 3D yaitu data multi foto konvergen. Dimana data foto-foto tersebut merekam objek yang sama tetapi diambil dari sudut pandang yang berbeda. Hal ini dilakukan supaya mendapatkan koordinat 3D objek.

4. Didalam *software photomodeller scanner* terdapat beberapa metode yang digunakan untuk memodelkan objek menjadi model 3D didalam yaitu *Path Mode* dan *Dense Surface Model (DSM)*, karena objek yang akan dijadikan bentuk 3D mempunyai *surface* yang cenderung detail dan semua sisinya dapat dibentuk dengan satu *software* saja yakni *Photomodeller Scanner*, maka metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu *Dense Surface Model (DSM)*.

V.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini yaitu:

1. Ketika dilakukan pengambilan data foto, jarak antara kamera ke objek harus sama dan fokus kamera yang digunakan harus sama ketika dilakukan kalibrasi kamera oleh sebab itu pengaturan terhadap fokus kamera harus diperhatikan.
2. Pengambilan data foto sebaiknya dilakukan ketika cuaca cerah dan pengambilan datanya menghindari pemotretan yang berhadapan langsung dengan sinar matahari, hal ini diharapkan dapat memperoleh gambar yang terang.
3. Pengambilan data foto yang objek atau bangunannya lebih tinggi. Sebisanya mungkin foto sisi bagian atas objek atau bangunan bisa *tercover*, agar model 3D dari objek atau bangunan tidak berlubang.
4. Perbanyak titik kontrol yang sama dan dapat terlihat dari berbagai sisi, agar dapat dipakai sebagai titik referensi. Semakin banyak titik kontrol

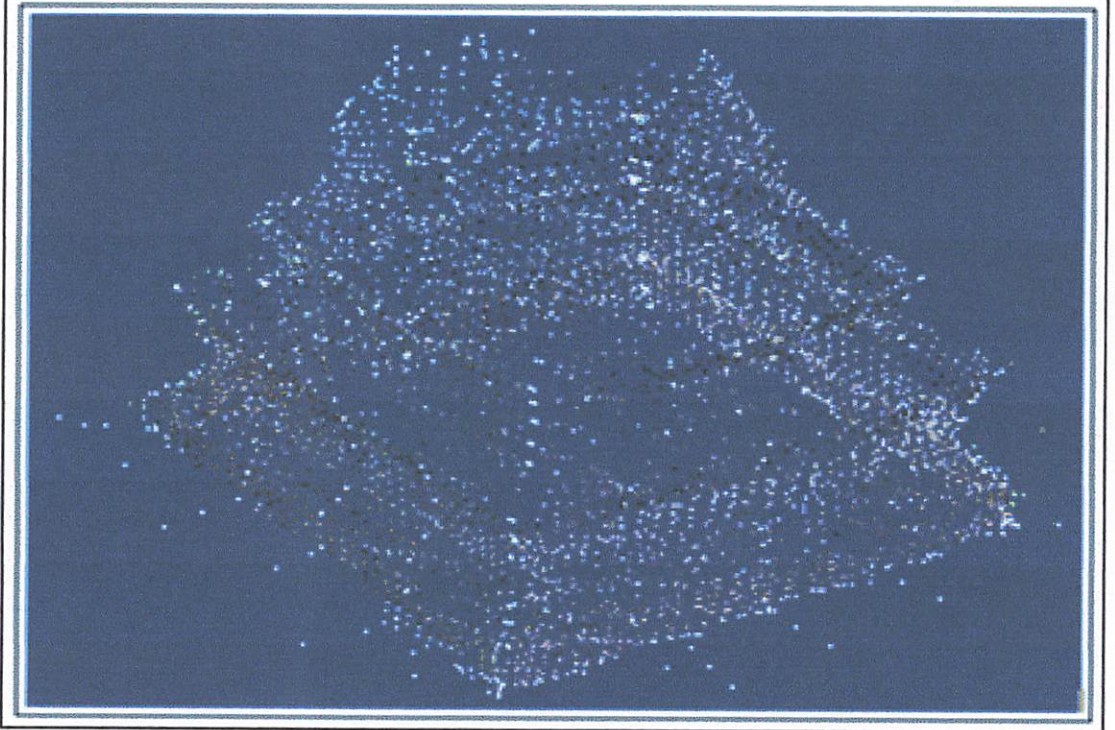
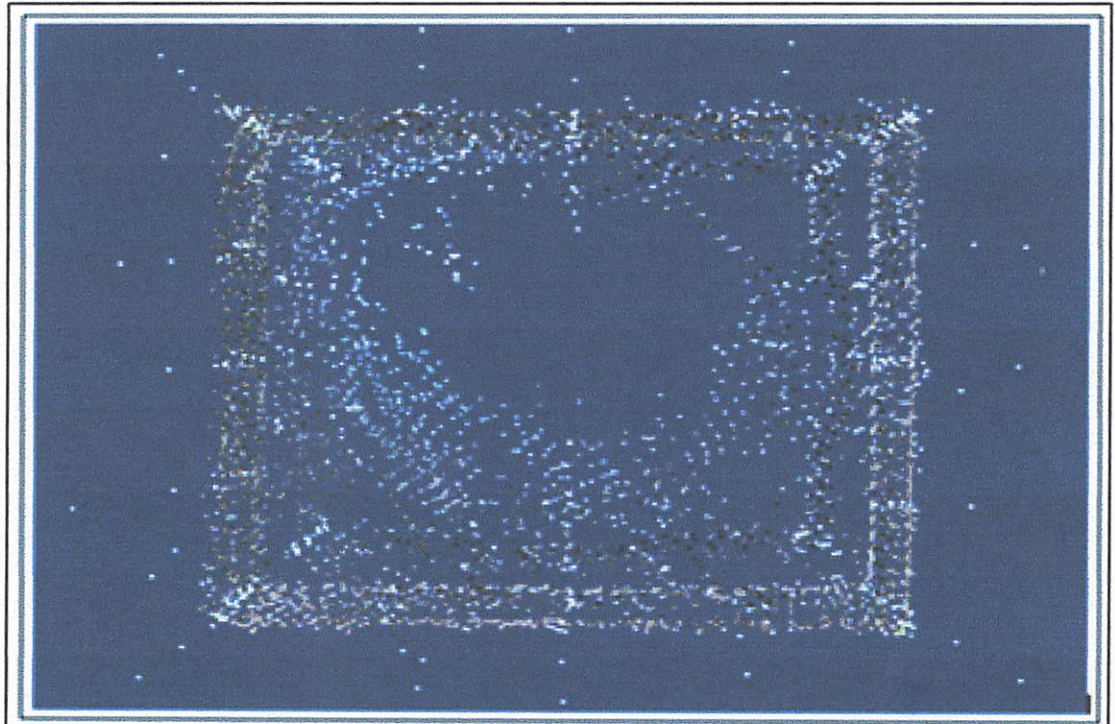
yang sama (dapat direferensikan untuk proses registrasi) maka semakin baik bentuk 3D tersebut karena titik kontrolnya kuat.

5. Untuk mendapatkan model 3D yang utuh sebaiknya objek yang akan dijadikan model 3D terbebas dari penghalang dan seluruh objek tercover didalam satu foto.
6. Untuk pengolahan foto menjadi model 3D, sebaiknya tidak terlalu banyak foto yang akan diproses. Karena semakin banyak foto yang diproses, semakin berat proses didalam *software PhotoModeler* untuk menjadikan model 3D sebuah objek.
7. Sebaiknya pengambilan data foto dilakukan dengan kamera diletakkan diatas kaki kamera (tripod), agar nilai koordinat yang dihasilkan dari titik-titik Premark akurat. Sehingga nantinya judul ini bisa dikembangkan lagi menjadi *3D Documentation* foto yang mempunyai nilai koordinat yang akurat.

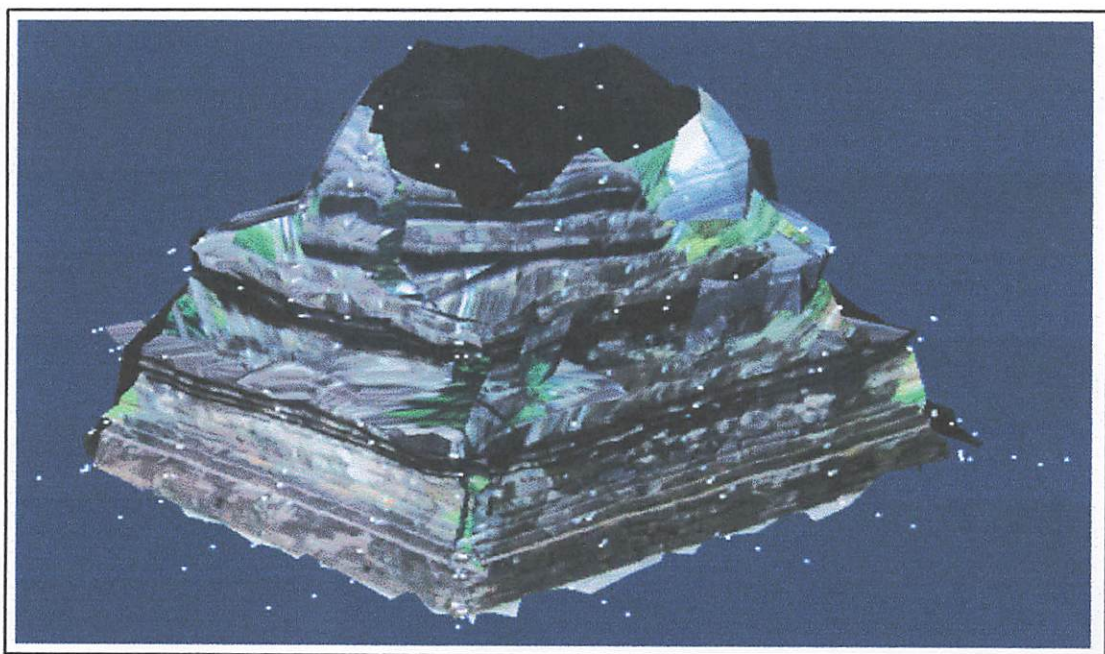
DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson. 1980. *Developments in Close Range Photogrammetry-1*. Applied Science Publishers. London.
- Atkinson. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Atkinson, K. B *Close Range Photogrammetry and machine vision*, Whittles Publishing.
- Blogspot, 2013. Animation Class.
<http://classanimation4.blogspot.com/2013/03/pengertian-dengan-kemajuan-teknologi.html> [online] diakses pada 6 April 2013.
- Chandler, J.H., Fryer, J.G., and Alpine, S.R, 2005, *Metrik Capabilities of Low Cost Digital Cameras for Close Range Surface Measurement*, The Photogrammetric Record 20 (109): 12-26, edisi maret 2005.
- Akhmad, D.P., 2012. Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo. (diakses tanggal 6 April 2013).
- Fedak, M. 2001. close-range photogrammetry techniques utilizing close to the camera metrics combined with Total Station for production quality control ship.
- Affandi, F.B., 2004. Bangunan Bersejarah Indonesia, dari Pusat Dokumentasi Arsitektur
<http://www.pda-id.org/library/index.php?menu=library&act=detail&gmd=Artikel>
[online] Diakses pada 6 April 2013.
- Fraser, Clive. 1997. Digital Camera Calibration Methods: Considerations And Comparisons.
- Rottensteiner et. al (2002). Automatic generation of high-quality building models from LIDAR Data. In: IEEE Computer Graphics & Applications 23(6), pp. 42-50, 2003.
- FRYER, J.G., Camera Calibration. In : ATKINSON, K.B., Close Range Photogrammetry and Machine Vision. [S.I.] : Whittles, 1996.

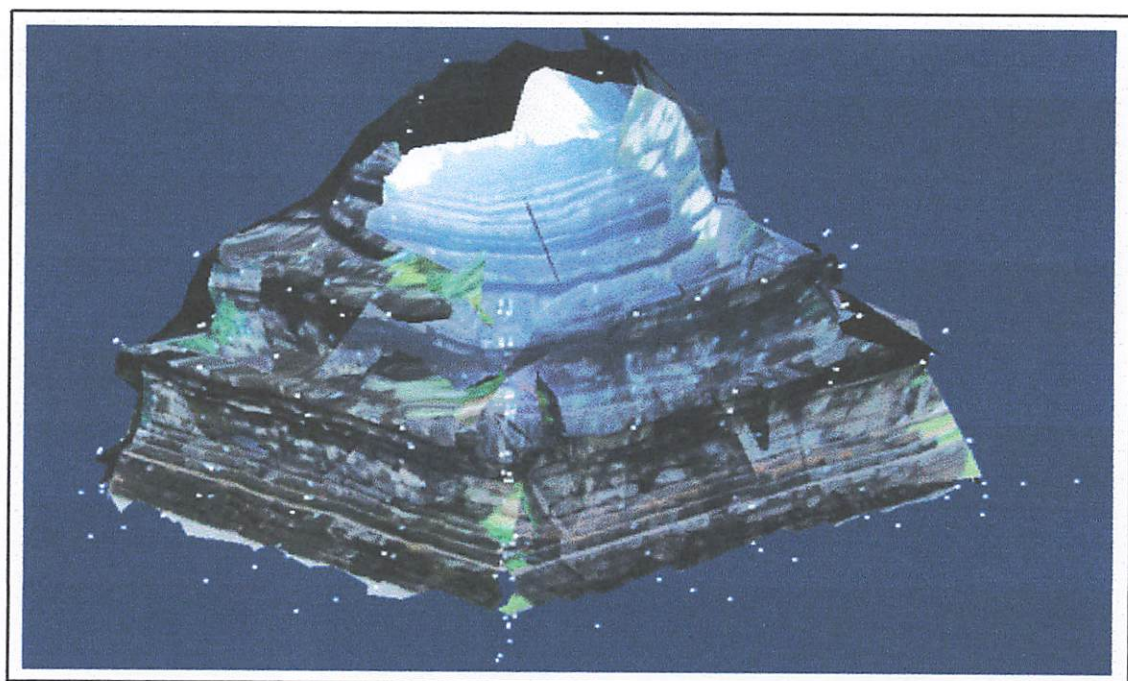
- Habib, A.F. (2004). 3-D Modelling Of Historical Sites Using Low-Cost Digital Cameras. Canada.
- Karara, H.M and Adams, L.P (1989). *Non-topographic photogrammetry*. 2nd Edition, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia.
- Kraus, Karl. 2002. Photogrammetry, Volume I, Fundamental and Standard Processes. Dümmler, Köln. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. printed by Hubert & Co. GmbH & Co. KG. Göttingen.
- Leitch, Kenneth. 2002. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. Disertasi New Mexico State University. Meksiko
- Nina Amenta, Sunghee Choi, Tamal K. Dey, and Naveen Leekha. A simple algorithm for homeomorphic surface reconstruction. pages 213–222, 2000.
- Photomodeler, 2013. Film, Gaming and Animation.
http://www.photomodeler.com/applications/film_gaming_anim/default.html
 [online] Diakses pada 6 April 2013.
- Salma, C. C. 1980. *Manual of Photogrammetry*, 4th ed., American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia.
- Suwardhi, D. 2007. Development of Multi Resolution Dense Correspondence Models to Enhance Craniofacial Geometric Morphometric Database System.
- Wigrata, H.. 1986. *Kalibrasi Besaran-besaran Panjang Fokus dan Distorsi Lensa pada Kamera Non-Metrik*. Skripsi Sarjana Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Wolf, P.R. 1983. *Elements of photogrammetry*. Mc. Graw Hill.
- Wolf, P.R. 1993. *Element of Photogrammetry, Dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*. Gadjah Mada University Press.
- Zapp, Rieke., Dirk., H. and Nearing, Mark. A. (2005). Digital Close Range Photogrammetry For Measurement Of Soil Erosion.
- Zubaidah, 1998. The Potential Application Of Virtual Reference Station-Real Time Kinematic In Structural Health Monitoring.



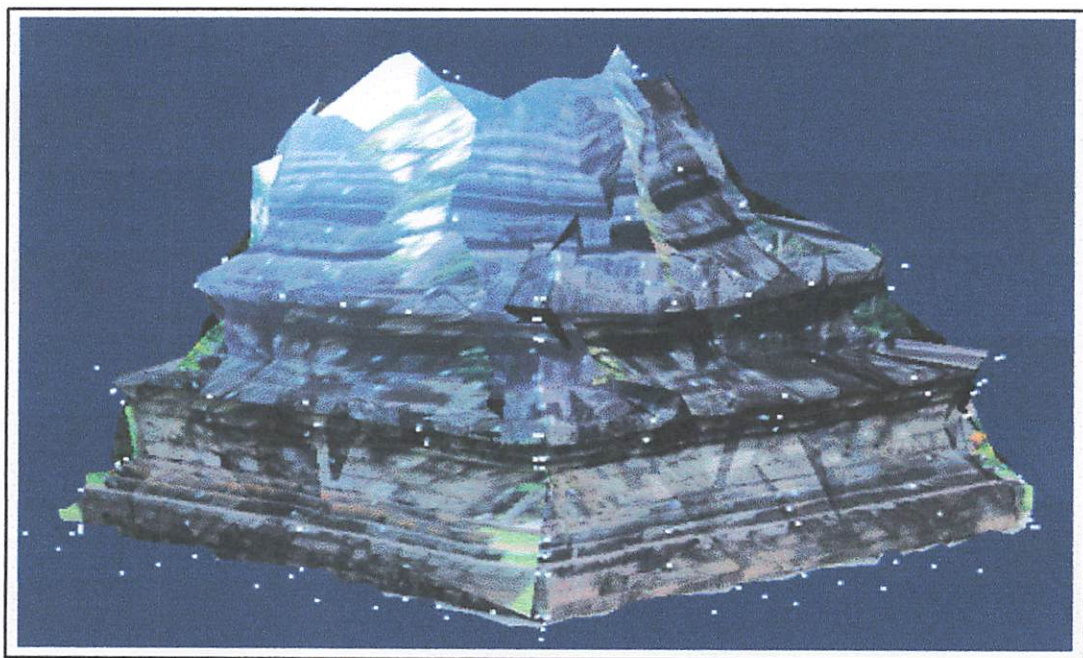
Point meshing



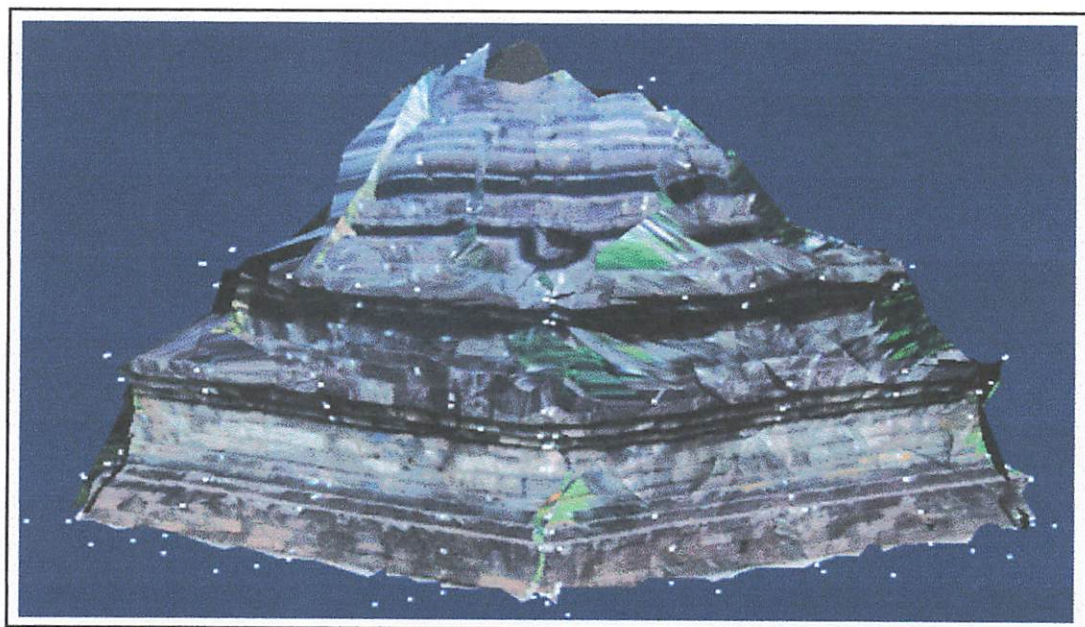
Sisi 1



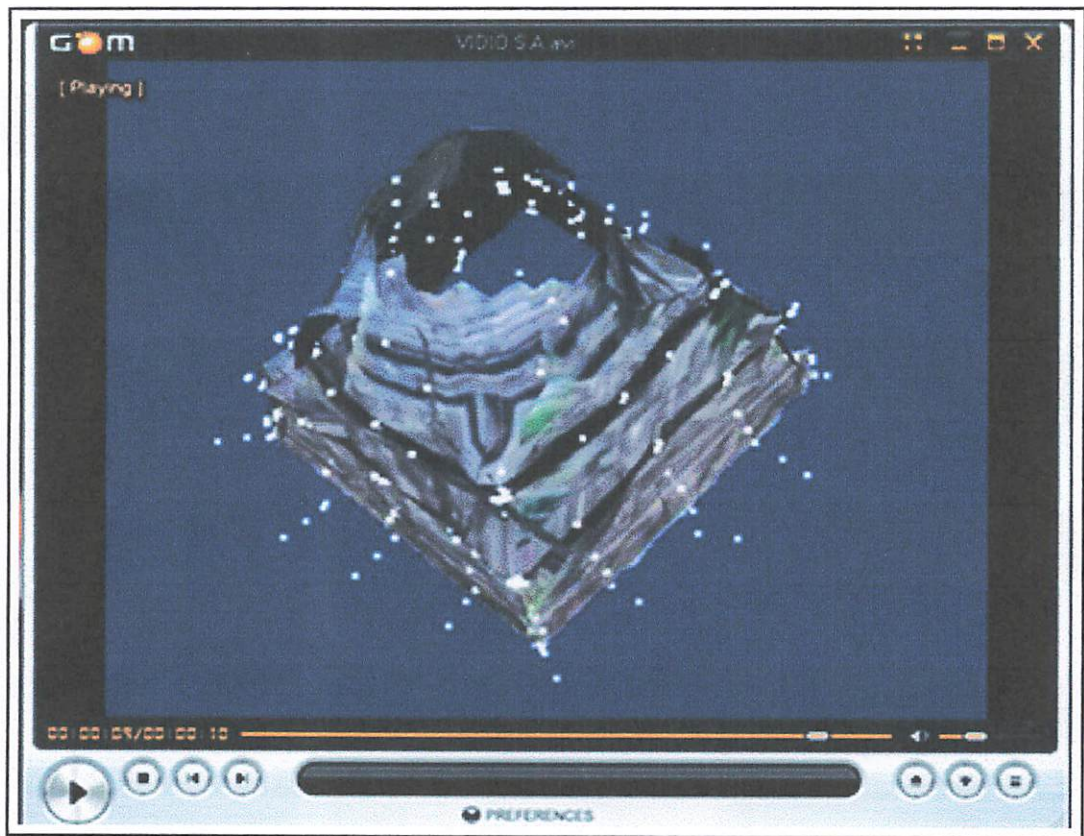
Sisi 2



Sisi 3



Sisi 4



Animasi 3 Dimensi