

SKRIPSI

**PEMBUATAN MODEL 3 DIMENSI (3D) VIRTUAL
DENGAN TEKNIK CLOSERANGE PHOTOGRAMMETRY
BERMETODEKAN DENSE SURFACE
(Studi Kasus :Situs Prasasti Puncang, Kota Malang)**



Disusunoleh:

REZA SATRIO W

0825033

(DosenPengarah :M. Edwin Tjahjadi, ST.,MGeom.,Sc.PhD)

**JURUSAN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2013**

Malang, 23 Agustus 2013

Yang membuat pernyataan



Reza Satrio Wibowo

NIM : 08.25.033

LAURENCE (MRS) LEMMONS & SONS, LTD
71, WHITEHALL PLACE, LONDON, E.C. 4
TELEGRAMS: "LAWSON" LONDON
(Cable Address: "Lawson" London)

1941

Dear Sir,

I have the pleasure to acknowledge the receipt of your letter of the 14th inst.

in relation to the above-named firm and to inform you that the same has been forwarded to the appropriate authorities for their consideration.

I am, Sir, very truly yours,

Yours faithfully,
[Signature]

Enclosed for you are two copies of the report of the Committee on the subject of the above-named firm.

I am, Sir, very truly yours,
[Signature]

Yours faithfully,
[Signature]

I am, Sir, very truly yours,
[Signature]



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Reza Satrio Wibowo
NIM : 08.25.033
Program Studi : Teknik Geodesi S-1
Fakultas : Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya dengan judul :

**“PEMBUATAN MODEL 3 DIMENSI (3D) VIRTUAL DENGAN TEKNIK
CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY BERMETODEKAN DENSE
SURFACE**

(Studi Kasus : Situs Prasasti Puncang, Kota Malang)”

Adalah hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 23 Agustus 2013

Yang membuat pernyataan



Reza Satrio Wibowo

NIM : 08.25.033

LEMBAR PERSETUJUAN

PEMBUATAN MODEL 3 DIMENSI (3D) VIRTUAL DENGAN TEKNIK CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY BERMETODEKAN DENSE SURFACE

(Studi Kasus : Situs Prasasti Puncang, Kota 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 :

REZA SATRIO WIBOWO

08.25.033

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

M. Edwin Tjahjadi, ST., MGeom.Sc.PhD

Ir. M. Nurhadi, MT

Mengetahui,



Ir. Agus Darpono, MT



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

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

ERSERO) MALANG
IAGA MALANG

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

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI

**PEMBUATAN MODEL 3 DIMENSI (3D) VIRTUAL DENGAN TEKNIK CLOSE
RANGE PHOTOGRAMMETRY BERMETODEKAN DENSE SURFACE**
(Studi Kasus : Situs Prasasti Puncang, Kota Malang)

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Penguji Skripsi Jenjang Strata-1 (S-1)

Pada hari/ tanggal : Jumat, 23 Agustus 2013

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

Oleh :

Reza Satrio Wibowo

08.25.033

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

Ir. Agus Darpono, MT

Sekretaris

Silvester Sari Sai, ST, MT

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. M. Nurhadi, MT

Penguji II

Silvester Sari Sai, ST, MT

Penguji III

M. Edwin Tjahjadi, ST.M.Geo.M.Sc.PhD

LEMBAR PERSEMBAHAN

Ucapan syukur Alhamdulillah saya panjatkan kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Junjunganku Rasullulah SAW atas segala teladannya.

Terimakasih kepada kedua orangtua saya, Gatot Kasujono dan Widiastuti Setiowati atas segala dukungan dan kasih sayangnya yang tiada henti, serta permohonan maaf karena tidak dapat menyelesaikan jenjang kuliah ini tepat waktu.

Kepada kakak-kakak saya, Mas Dodi, Mbak Mitha, Mbak Nino, dan Mas Aji, dan seluruh keluarga besarku, terima kasih banyak buat semua dukungan dan doa kalian selama ini.

Terimakasih dan hormat saya kepada Bapak Pembimbingku, Bapak M. Edwin Tjahjadi, ST., MGeom., Sc. PhD atas segala arahan, dan kesabaran dalam membimbing saya, dan tentunya terimakasih juga kepada seluruh dosen Geodesi ITN Malang.

Kepada semua sahabat, Bebek, Suro, Goprak, Kebo, Wawan, Dido, Ngantang, Rigadho, Ero, Vano, Ullum, Cyntia dan para sahabat yang lain, terimakasih banyak rek, maaf sering merepotkan, hehe, sukses untuk kalian semua.

Angkatan Geodesi 08, serta seluruh teman –teman yang lain, yang tidak dapat saya sebutkan di lembar persembahan yang singkat ini, sukses untuk kalian semua, mari taklukan dunia bersama.

Kampus ITN Malang, semoga semakin maju dan berkembang.

Dan yang terakhir, terimakasih banyak Utari Prasetyaningrum atas segala dukungan dan cintanya. ♥

Good Luck!



ABSTRAK

PEMBUATAN MODEL 3 DIMENSI (3D) VIRTUAL DENGAN TEKNIK *CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY* BERMETODEKAN *DENSE SURFACE*

Studi Kasus : Prasasti Puncang, Kota Malang

Oleh:

Reza Satria Wibowo

08.25.033

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 pemotretan hingga terbentuknya model 3D.

Pada penelitian ini, pengambilan data memakai kamera digital SLR yang telah terkalibrasi, dengan cara pengambilan foto diambil dari sudut pandang yang berbeda (sebisa mungkin terdapat pertampalan pada foto-foto yang diambil). Dari data foto multi konvergen tersebut dibuatlah model 3D dengan bantuan software *Photomodeler Scanner*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa, pembuatan model 3D Prasasti dapat dilakukan dengan menggunakan data-data foto dengan bantuan *software Photomodeler Scanner*. Dari model 3D yang terbentuk, terlihat seperti visualisasi objek yang sebenarnya. 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.*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul **“PEMBUATAN MODEL 3 DIMENSI (3D) VIRTUAL DENGAN TEKNIK *CLOSE RANGE PHOTOGRAMETRY* BERMETODEKAN *DENSE SURFACE*”**.

Penelitian ini bertujuan untuk mempraktekan teori-teori yang didapat dari bangku perkuliahan, serta untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.

Penulis menyadari masih ada yang perlu di sempurnakan. Maka dari itu, segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif akan penulis terima dengan senang hati.

Dengan terselesainya laporan penelitian ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Agus Darpono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi.
2. Bapak M. Edwin Tjahjadi, ST.,MGeom.,Sc.PhD selaku dosen pembimbing yang senantiasa sabar membimbing dan mengajarkan penulis dalam penyusunan laporan penelitian ini.
3. Bapak dan ibu dosen pengajar di lingkungan jurusan geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Saudara geodesi 2008, dan teman-teman yang lain, terimakasih atas semua bantuan dan ide kreatif yang sangat membantu penulis.

Besar harapan penulis semoga laporan penelitian ini bermanfaat khususnya bagi pemerintah Kota Malang, rekan-rekan teknik geodesi, dan para pembaca pada umumnya.

Malang, 25 Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
Halaman Judul	
Lembar Pernyataan Keaslian Skripsi	i
Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan.....	iii
Abstraksi	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel.....	viii
Daftar Gambar.....	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Tinjauan Pustaka	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
2.1 Pengertian Fotogrametri	4
2.2 Close Range Photogrammetry	5
2.2.1 Prinsip Dasar Fotogrametri.....	5
2.2.2 Geometri Pada Multi Kamera.....	10
2.2.3 Estimasi Hitung Perataan dengan LSE dan Bundle Adjustmen	11
2.3 Kalibrasi Kamera	13
2.4 Pembuatan Model 3D.....	15
2.5 Metode Pengambilan Gambar	16
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Persiapan Penelitian	18
3.1.1 Lokasi Penelitian	18
3.1.2 Alat dan Bahan Penelitian	

3.1.2.1 Alat Penelitian.....	19
3.1.2.2 Bahan Penelitian.....	19
3.1.3 Peralatan Pendukung.....	19
3.2 Pelaksanaan Penelitian	20
3.2.1 Diagram Alir Penelitian	20
3.2.2 Pemotretan Template Kalibrasi	24
3.2.3 Proses Kalibrasi Kamera.....	25
3.2.4 Pemotretan Obyek 3D Prasasti.....	29
3.2.5 Pembuatan Model 3D dengan menggunakan Photomodeler	31
3.2.5.1 Pembuatan Model 3D dengan Dense Surface.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Parameter Kalibrasi Kamera.....	42
4.2 Hasil Model 3D Sisi Prasasti di Photomodeler.....	45
4.3 Kendala yang dihadapi selama Penelitian	47
4.3.1 Kalibrasi Kamera	47
4.3.2 Pemasangan Titik Kontrol	47
4.3.3 Pengambilan Data Lapangan.....	48
4.4 Pengecekan Dimensi Model 3D.....	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	xi
LAMPIRAN	xiii

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 4.1 Nilai Parameter Hasil Kalibrasi.....	44
Tabel 4.2 Hasil Ukuran Obyek Untuk Skala	51
Tabel 4.3 Data Ukuran dan Dimensi Model 3D	52

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Kondisi kolinear atau Kondisi kesejarisan	6
Gambar 2.2 Interseksi Spasial	8
Gambar 2.3 Reseksi Spasial	9
Gambar 2.4 Geometri pada multikamera	10
Gambar 2.5 Ilustrasi Distorsi Lensa Dan Tidak Orthogonalnya	15
Gambar 3.1 Perangkat Keras didalam Penelitian	19
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.3 Pemotretan template kalibrasi	24
Gambar 3.4 Data foto untuk kalibrasi kamera.....	25
Gambar 3.5 Template calibration.....	25
Gambar 3.6 Langkah awal proses kalibrasi.....	26
Gambar 3.7 Kotak dialog automatic camera calibration.....	27
Gambar 3.8 Kotak dialog project status report.....	27
Gambar 3.9 Ilustrasi pengambilan data.....	29
Gambar 3.10 Contoh foto salah satu sisi prasasti	30
Gambar 3.11 Pemasangan titik kontrol	30
Gambar 3.12 Langkah awal pembuatan model 3D.....	32
Gambar 3.13 Idealize	33
Gambar 3.14 Orientasi	33
Gambar 3.15 Referencing	34
Gambar 3.16 Penyekalaan.....	36
Gambar 3.17 Menu dense surface.....	36
Gambar 3.18 Kotak dialog pointmesh options	39
Gambar 4.1 Data foto untuk kalibrasi	43
Gambar 4.2 Parameter hasil kalibrasi kamera	43
Gambar 4.3 Foto hasil idealize	45
Gambar 4.4 Model 3D prasasti	46
Gambar 4.5 Table windows.....	46

Gambar 4.6 Pemasangan titik kontrol.....	48
Gambar 4.7 Pemotretan prasasti tiap sisi	49
Gambar 4.8 Ilustrasi pengambilan data.....	50
Gambar 4.9 Model salah satu sisi yang terskalakan dan Pengecekan Dimensi .	51

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi komputer telah mengubah teknik menggambar secara konvensional yaitu menggambar dalam bentuk 2D akan beralih ke pemodelan secara tiga dimensi (3D). Saat ini, representasi model tiga dimensi (3D) virtual pada komputer sangat populer. Dalam menampilkan 3D virtual tersebut, data – data dari dunia nyata yang akan dibentuk menjadi model (3D) yang kompleks. Pemodelan 3D secara virtual sangat diperlukan dalam berbagai aplikasi, baik untuk simulasi maupun untuk pengenalan model dari objek dunia nyata yang sulit disajikan secara fisik dikarenakan keterbatasan ruang dan waktu (Arifin, 2011).

Model 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 (Arifin, 2011).

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 Prasasti Puncang 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.

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 3D Prasasti Puncang dengan menggunakan *software Photomodeler Scanner* khususnya metode *Dense Surface*.

I.3 Batasan Masalah / Ruang Lingkup

Adapun batasan masalah dalam tugas penelitian ini yaitu pembuatan model 3D virtual Prasasti Puncang dari multi foto konvergen dengan *software Photomodeler Scanner* khususnya metode *Dense Surface*.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan tugas akhir ini adalah pembuatan model 3D virtual dari foto kamera digital SLR yang diolah dengan menggunakan *software Photomodeler Scanner* khususnya metode *Dense Surface*.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Pengertian Fotogrametri

Fotogrametri memiliki berbagai definisi yang diberikan oleh beberapa pakar fotogrametri. Definisi fotogrametri yang paling populer digunakan adalah definisi yang diberikan oleh Salma (1980) didalam *Manual of Photogrametry* 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 dapat 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 boleh diklasifikasikan sebagai fotogrametri udara dan fotogrametri jarak dekat. Secara ringkas, fotogrametri udara pengambilan data fotoyang diambil dengan kamera metrik yang diletakkan di badan pesawat dan fotogrametri jarak dekat yaitu pengambilan data foto yang diambil di atas bumi dengan kamera metrik atau kamera bukan metrik. (Atkinson, 1980)



II.2 Close Range Photogrammetry

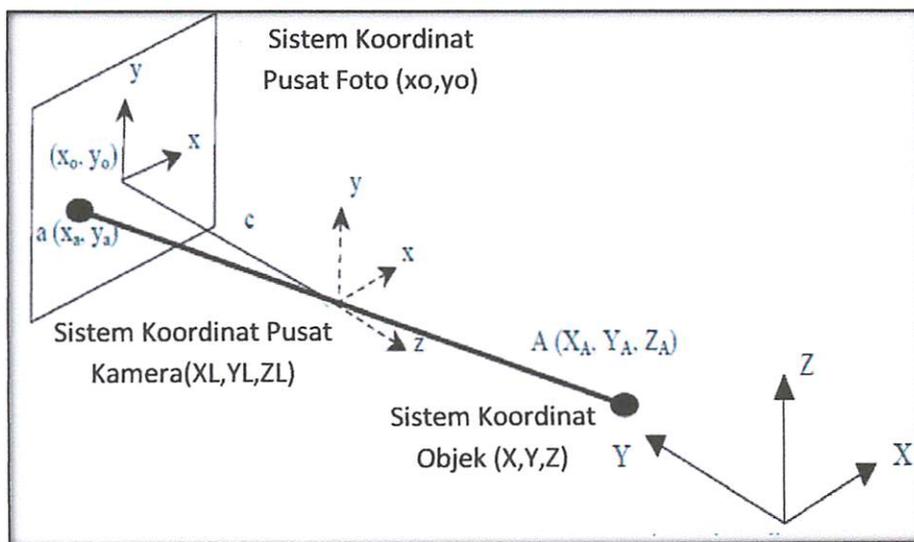
Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa perlu berhubungan ataupun bersentuhan secara langsung objeknya. Pengukuran terhadap objek tersebut dilakukan melalui data yang diperoleh pada sistem sensor yang digunakan. Terminologi *Close Range* atau Rentang Dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. (geodesy.gd.itb.ac.id, 2007)

Pada teknik CRP 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 pasarnya yang lebih luas.

II.2.1 Prinsip Dasar Close Range Photogrammetry

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 (*collinearitycondition*). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri (Atkinson, 1980). Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Kondisi kolinear/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. (Rahma, N. 2007)

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 (Rahma, N. 2007).Perhatikan Gambar 2.1. X_L, Y_L, Z_L 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 kolineraritas adalah:

$$x_a = -c \frac{[r_{11}(X_0 - X_A) + r_{12}(Y_0 - Y_A) + r_{13}(Z_0 - Z_A)]}{[r_{31}(X_0 - X_A) + r_{32}(Y_0 - Y_A) + r_{33}(Z_0 - Z_A)]}$$

$$y_a = -c \frac{[r_{21}(X_0 - X_A) + r_{22}(Y_0 - Y_A) + r_{23}(Z_0 - Z_A)]}{[r_{31}(X_0 - X_A) + r_{32}(Y_0 - Y_A) + r_{33}(Z_0 - Z_A)]} \dots\dots\dots(1)$$

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

$$r_{11} = \cos\varphi\cos\kappa$$

$$r_{12} = \sin\omega\sin\varphi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa$$

$$r_{13} = -\cos\omega\sin\varphi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa$$

$$r_{21} = -\cos\varphi\sin\kappa$$

$$r_{22} = -\sin\omega\sin\varphi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa$$

$$r_{23} = \cos\omega\sin\varphi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa$$

$$r_{31} = \sin\varphi$$

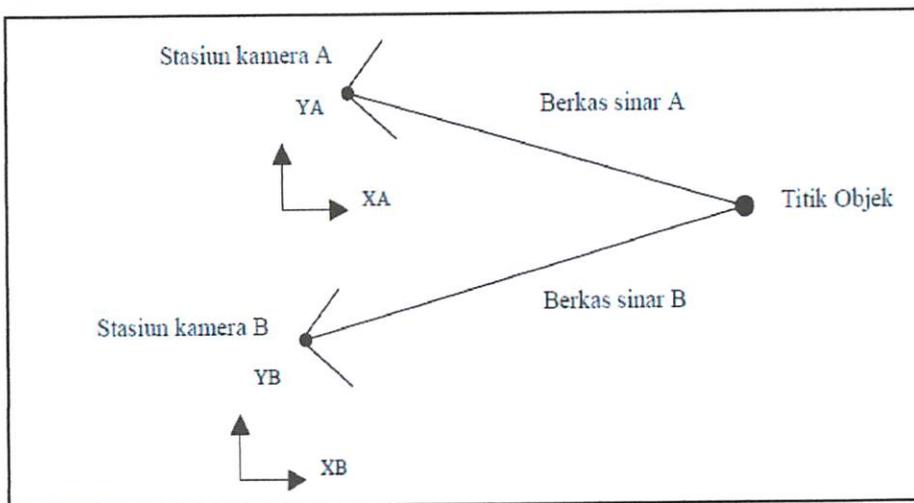
$$r_{32} = -\sin\omega\cos\varphi$$

$$r_{33} = \cos\omega\cos\kappa \dots\dots\dots(2).$$

Ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut:

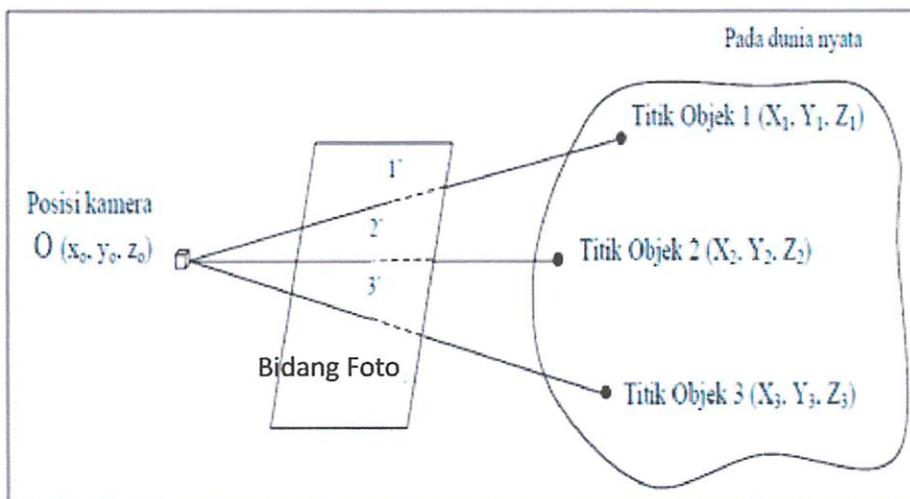
$$R = R_k R_\varphi R_\omega = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos k & \sin\omega\sin\varphi\cos k + \cos\omega\sin k & -\cos\omega\sin\varphi\cos k + \sin\omega\sin k \\ -\cos\varphi\sin k & -\sin\omega\sin\varphi\sin k + \cos\omega\cos k & \cos\omega\sin\varphi\sin k + \sin\omega\cos k \\ \sin\varphi & -\sin\omega\cos\varphi & \cos\omega\cos\varphi \end{bmatrix} \dots (3)$$

R_k 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 2.2 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 diketahuikoordinatnya sebagai titik control (Rahma, N. 2007).



Gambar 2.3 Reseksi Spasial (sumber: Leitch, 2002)

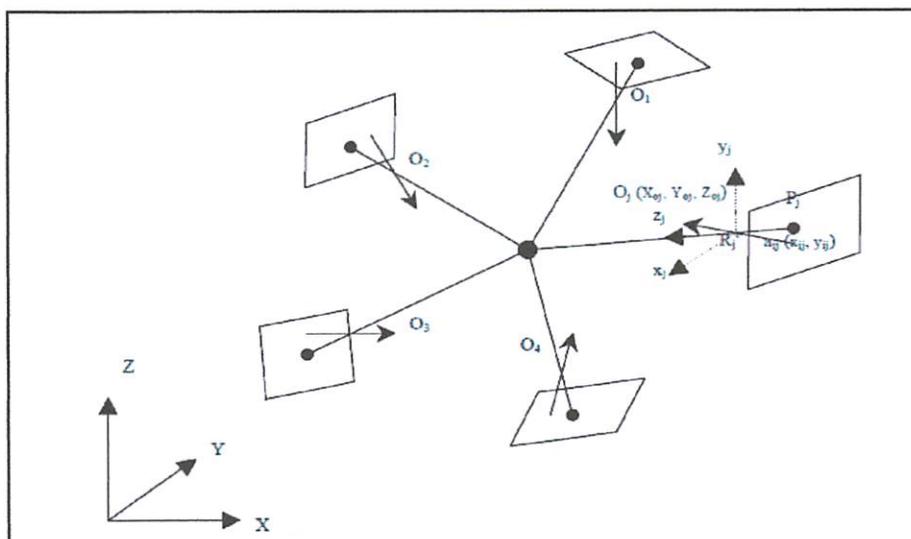
Pada reseksi spasial ini, harus diketahui koordinat (X, Y, Z) titik 1, 2, 3 di tanah, dalam hal ini pada objek, biasanya melalui pengukuran, dan juga diketahui koordinat (x, y, z) titik 1, 2, 3 di foto. Parameter yang dihitung adalah parameter orientasi luar (Eksterior Orientasi) $\omega, \phi, \kappa,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

II.2.2 Geometri Pada Multi Kamera

Dalam teknik CRP, kualitas proses penentuan koordinat objek dari foto dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembedikan ke objek secara konvergen dari beberapa kamera agar diperoleh ukuran lebih. Jika terdapat sejumlah j foto dengan i titik sebagaimana ditunjukkan gambar 2.4, maka persamaan kolinearitas menjadi (Atkinson, 1996):

$$x_{ij} = -c \frac{[r_{j,11}(X_{Oj}-X_i)+r_{j,12}(Y_{Oj}-Y_i)+r_{j,13}(Z_{Oj}-Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{Oj}-X_i)+r_{j,32}(Y_{Oj}-Y_i)+r_{j,33}(Z_{Oj}-Z_i)]}$$

$$x_{ij} = -c \frac{[r_{j,21}(X_{Oj}-X_i)+r_{j,22}(Y_{Oj}-Y_i)+r_{j,23}(Z_{Oj}-Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{Oj}-X_i)+r_{j,32}(Y_{Oj}-Y_i)+r_{j,33}(Z_{Oj}-Z_i)]} \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 2.4 Geometri pada multikamera (berdasarkan Atkinson, 1996)

Pada persamaan kolinier diatas belum melibatkan parameterkalibrasi kamera. Bentuk umum persamaan kesegarisan yang sudah memperhitungkan

koefisien distorsi lensa (K_1, K_2, K_3, P_1 and P_2) ruas kiri dari persamaan di atas menjadi (Atkinson, 1996):

$$\begin{aligned}
 & y_{ij} - y_{oj} + (y_{ij} - y_{oj})r_{ij}^{-1}(k_1r_{ij}^3 + k_2r_{ij}^5 + k_3r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + 2(y_{ij} - Y_{oj})^2] \\
 & \quad + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) \\
 & x_{ij} - x_{oj} + (x_{ij} - x_{oj})r_{ij}^{-1}(k_1r_{ij}^3 + k_2r_{ij}^5 + k_3r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + 2(x - x_{oj})^2] \\
 & \quad + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj})
 \end{aligned}$$

Dengan

$$r_{ij}^2 = (x_{ij} - X_{oj})^2 + (y_{ij} - Y_{oj})^2 \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan (5) dapat dituliskan sebagai: $F(\mathbf{X}, \mathbf{B}, \mathbf{A}) = 0$

\mathbf{X} adalah vektor parameter yang harus diestimasi, \mathbf{B} adalah vektor pengamatan, dan \mathbf{A} adalahvektor konstanta.

II.2.3 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 (Rahma, N. 2007).

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):

$$x_{ij} - x_{oj} + (x_{ij} - x) r_{ij}^{-1} (k_{1j} r_{ij}^3 + k_{2j} r_{ij}^5 + k_{3j} r_{ij}^7) + p_{1j} [r_{ij}^2 + 2(x_{ij} - X_{oj})^2] + 2p_{2j} (x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj})$$



$$= -c_j \frac{[r_{j,11}(X_{oj} - X_i) + r_{j,12}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,13}(Z_{oj} - Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{oj} - Z_i)]}$$

$$y_{ij} - y_{oj} + (y_{ij} - y_{oj}) r_{ij}^{-1} (k_{1j} r_{ij}^3 + k_{2j} r_{ij}^5 + k_{3j} r_{ij}^7) + p_{1j} [r_{ij}^2 + 2(y_{ij} - Y_{oj})^2] + 2p_{2j} (x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj})$$

$$= -c_j \frac{[r_{j,21}(X_{oj} - X_i) + r_{j,22}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,23}(Z_{oj} - Z_i)]}{[r_{j,31}(X_{oj} - X_i) + r_{j,32}(Y_{oj} - Y_i) + r_{j,33}(Z_{oj} - Z_i)]}$$

Maka

$$\begin{aligned}
& x_{ij} - x_{oj} + (x_{ij} - x_{oj})r_{ij}^{-1}(k_1r_{ij}^3 + k_2r_{ij}^5 + k_3r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + \\
& 2(x_{ij} - x_{oj})^2] + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) + \\
& c_j \frac{[r_{j,11}(x_{oj}-x_i)+r_{j,12}(y_{oj}-y_i)+r_{j,13}(z_{oj}-z_i)]}{[r_{j,31}(x_{oj}-x_i)+r_{j,32}(y_{oj}-y_i)+r_{j,33}(z_{oj}-z_i)]} = 0 \\
& y_{ij} - y_{oj} + (y_{ij} - y_{oj})r_{ij}^{-1}(k_1r_{ij}^3 + k_2r_{ij}^5 + k_3r_{ij}^7) + p_{1j}[r_{ij}^2 + \\
& 2(y_{ij} - y_{oj})^2] + 2p_{2j}(x_{ij} - x_{oj})(y_{ij} - y_{oj}) + \\
& c_j \frac{[r_{j,21}(x_{oj}-x_i)+r_{j,22}(y_{oj}-y_i)+r_{j,23}(z_{oj}-z_i)]}{[r_{j,31}(x_{oj}-x_i)+r_{j,32}(y_{oj}-y_i)+r_{j,33}(z_{oj}-z_i)]} = 0 \dots\dots\dots (6)
\end{aligned}$$

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

Selanjutnya parameter dihitung dari rumus:

$$\Delta x = \begin{pmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} A_1^T & W \\ A_2^T & W \end{pmatrix} b = N^{-1} \begin{pmatrix} A_1^T & W \\ A_2^T & W \end{pmatrix} b \dots\dots (7)$$

II.3 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 (K₁, K₂, K₃, P₁ and P₂), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y (b₁, b₂) (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 (Brown, 1971).

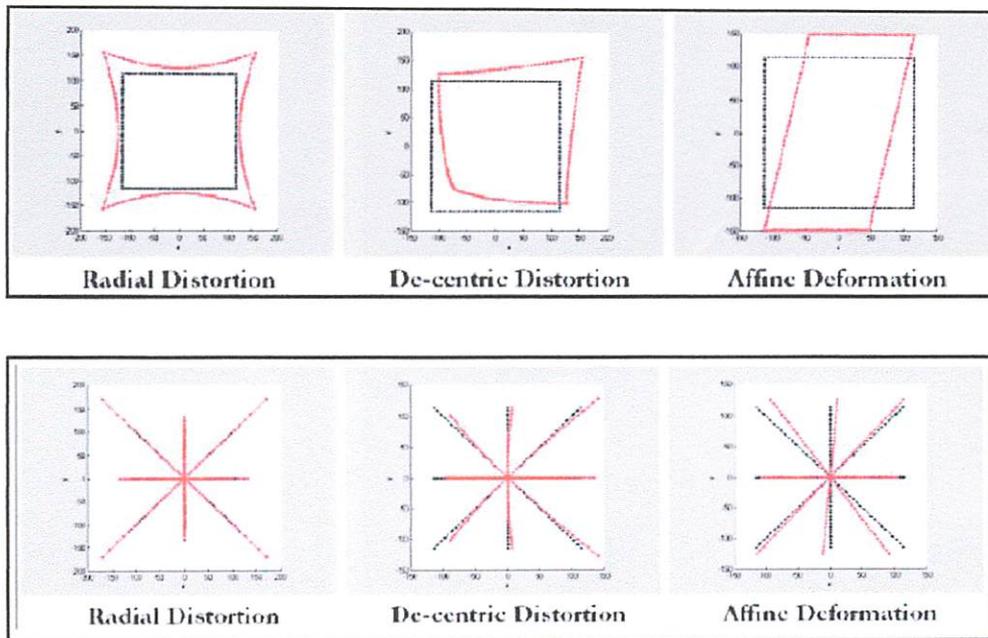
Distorsi radial adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. (Wigrata, 1986). Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polinomial dari jarak radial (δr) terhadap titik utama foto (Atkinson, 2000) sebagai berikut:

$$\delta r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7, r^2 = (x - X_0)^2 + (y - Y_0)^2 \dots\dots\dots (8)$$

Distorsi tangensial atau distorsi decentric adalah pergeseran linier titik di foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. (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).

$$\begin{aligned} \delta x &= p_1 [r^2 + 2(x - X_0)^2] + 2p_2 (x - x_0)(y - y_0) \\ \delta y &= p_1 [r^2 + 2(y - Y_0)^2] + 2p_2 (x - x_0)(y - y_0) \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

Ilustrasi adanya distorsi pada lensa ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Ilustrasi Distorsi Lensa Dan Tidak Orthogonalnya (Pullivelli, 2005)

II.4 Pembuatan Model 3D

Pembuatan objek 3D dapat dilakukan dengan pemindahan objek nyata menjadi sebuah *file* gambar 3D dengan bantuan *laser scanning* ataupun gambar-gambar dari kamera. Teknologi *laser scanning* adalah teknologi terkini, yaitu menempatkan sebuah *laser scanner* di tengah-tengah objek yang akan didokumentasikan. Selanjutnya *laser scanner* tersebut akan bekerja secara otomatis untuk mengambil gambar disekelilingnya dan menghasilkan output berupa file gambar 3D. Teknologi menggunakan *laser scanning* ini sangat mudah namun harganya masih sangat mahal sehingga belum bisa terjangkau oleh semua kalangan (Pramono, 2012).

Teknologi lain yang dapat digunakan dalam *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*, foto-foto tersebut dijadikan sebuah input dan akan menghasilkan output objek 3D.

II.5 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 (Pramono, 2012).

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 3D dimensi (Pramono, 2012).

Untuk kualitas gambar yang akan digunakan untuk membuat model 3D dimensi bergantung pada jenis kamera yang digunakan. Apabila menggunakan *pocket camera* sebaiknya perlu memperhatikan faktor-faktor iso dan *anti-shake* atau *vibration reduction* (Pramono, 2012).

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 3Dimensi (Pramono, 2012).

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

III.1. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian merupakan langkah awal yang dilakukan didalam proses penelitian, hal ini dilakukan untuk mendukung kelancaran didalam kegiatan penelitian. Dalam persiapan penelitian ini meliputi, pemilihan lokasi penelitian, mempersiapkan alat dan bahan penelitian, beserta peralatan pendukung. Setelah terpenuhinya segala keperluan yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian, maka kegiatan penelitian dapat segera dilaksanakan. Berikut ini, adalah uraian mengenai kegiatan yang dilakukan didalam persiapan penelitian:

III.1.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Museum Purbakala Mpu Purwa, yang beralamatkan di Perumahan Griyasanta, Malang, Jawa Timur.

III.1.2. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk mendukung jalannya pelaksanaan penelitian ini, meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Berikut ini akan uraikan mengenai peralatan dan bahan yang digunakan didalam kegiatan penelitian:

III.1.2.1. Alat Penelitian

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan di dalam penelitian ini meliputi: laptop toshiba *Intel Dual-core*, printer *Canon ip 2770*, dan kamera *Nikon D40* dengan sensor 6 *megapixel*. Pada Gambar 3.1 berikut ini, merupakan gambaran perangkat keras yang digunakan.



Gambar 3.1 Perangkat Keras dalam Penelitian (sumber:computerchronicles.com)

2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan didalam penelitian ini meliputi: *Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 3*, *Photomodeller Scanner 6*, *Microsoft Office 2007*.

III.1.2.2. Bahan Penelitian

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

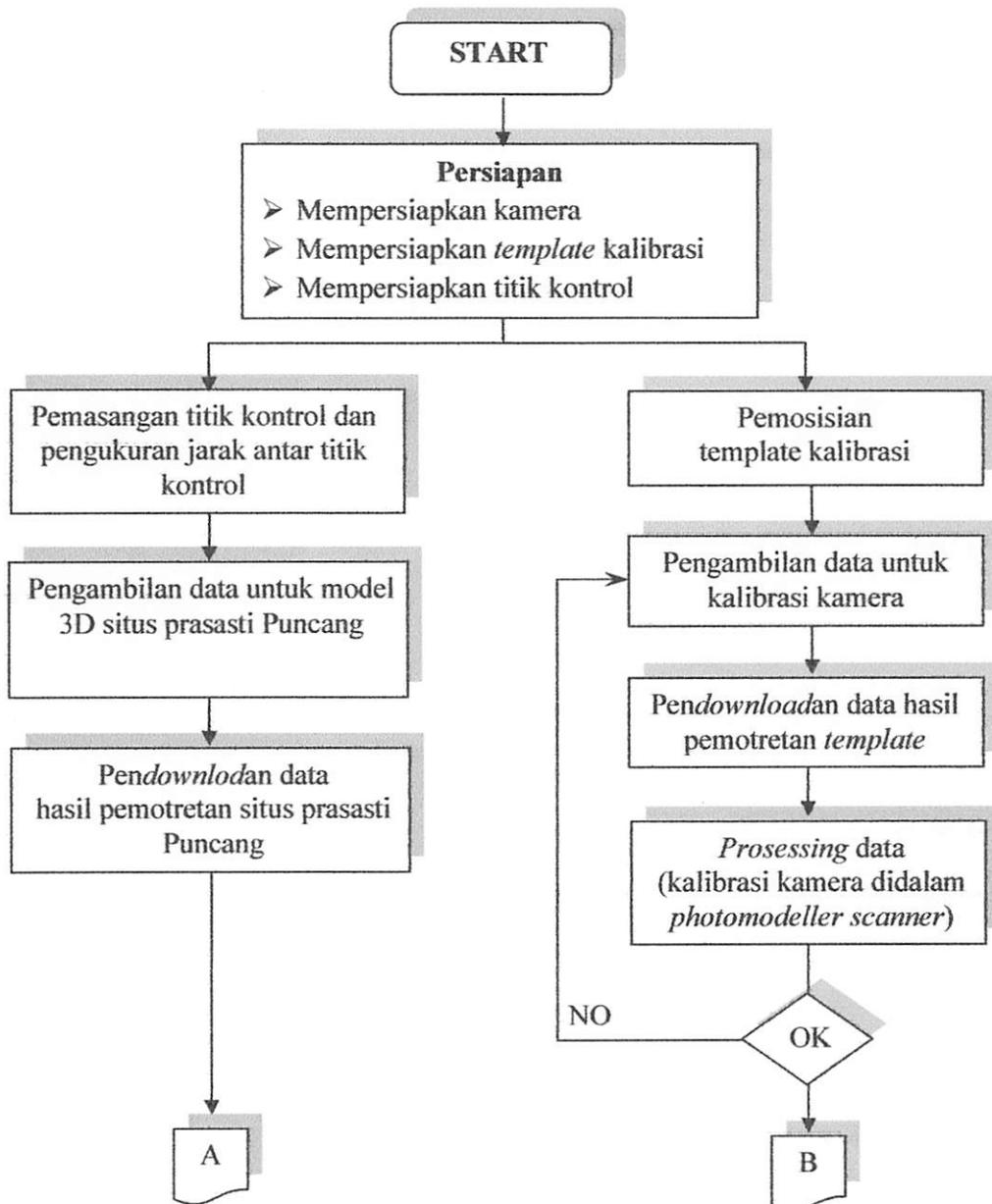
III.1.3 Peralatan Pendukung

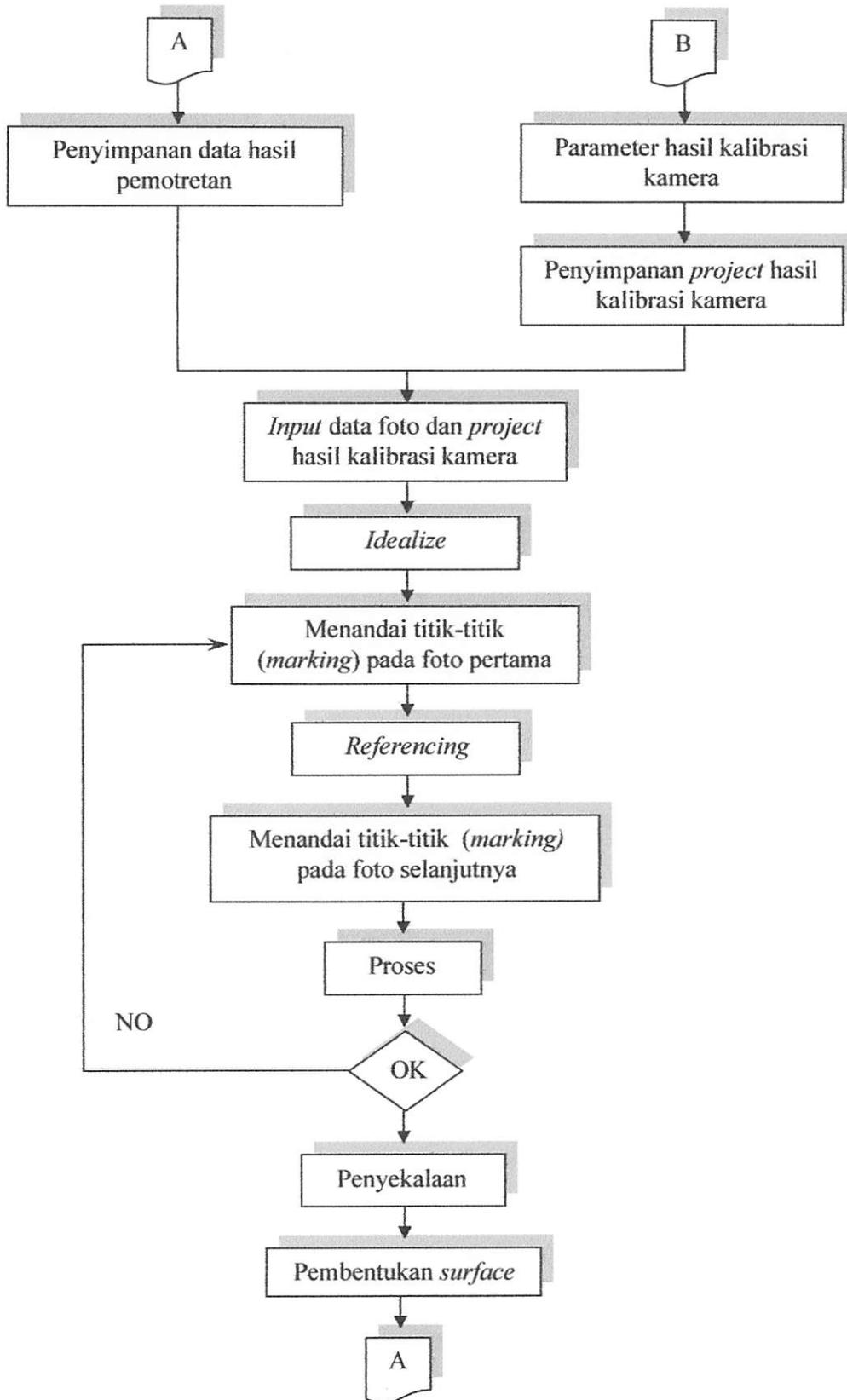
Peralatan pendukung yang digunakan didalam penelitian ini meliputi: *roll* meter, *tripot* kamera, buku catatan, alat tulis.

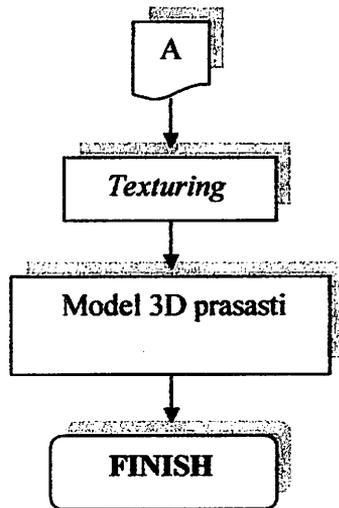
III.2. Pelaksanaan Penelitian

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

III.2.1. Diagram Alir Penelitian







Gambar 3.2 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 Persiapan

Tahapan persiapan dilakukan penyusunan rancangan pelaksanaan kegiatan penelitian yang didasarkan pada maksud dan tujuan pembuatan model 3D prasasti Puncang dengan memanfaatkan teknik *close range photogrammetry* dan didukung dengan *software photomodeller scanner*.

Pada tahapan ini dilakukan persiapan peralatan yang mendukung dalam kegiatan pengumpulan data dengan teknik *close range photogrammetry*.

Menyiapkan literatur yang mendukung untuk mengetahui cara *processing* data di dalam aplikasi *software photomodeller scanner* juga dilakukan.

Dengan memahami proses pengambilan data dan *processing* data didalam

software akan mempermudah dalam penelitian ini. Setelah tahap persiapan selesai dilakukan, langkah berikutnya yaitu tahap pengumpulan data.

2. Tahap Pengumpulan Data

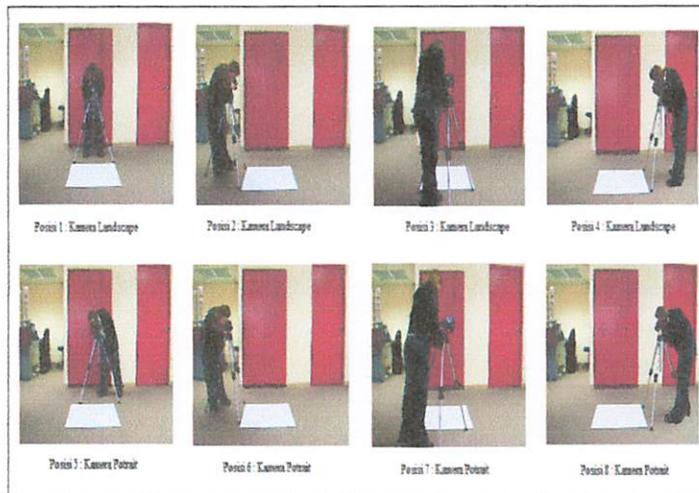
Tahap pengumpulan data yaitu pengambilan data foto untuk proses kalibrasi kamera dan pembuatan model 3D. Untuk kalibrasi dilakukan pengambilan data dari template kalibrasi kamera, data yang diambil minimal 6 buah foto, sedangkan untuk model 3D pengambilan data dilakukan dengan teknik *close range photogrammetry*. Pengambilan data foto untuk model 3D dibutuhkan data multi foto konvergen atau foto yang bertampalan sehingga dapat diproses didalam *software photomodeller scanner* hingga terbentuknya model 3D. Setelah tahap pengumpulan data selesai dilakukan, langkah berikutnya yaitu tahap pemrosesan data.

3. Tahap Pemrosesan Data

Pemrosesan data kalibrasi kamera dan pembuatan model 3D dilakukan didalam *software photomodeller scanner*. Hasil dari proses kalibrasi kamera yaitu berupa parameter kalibrasi yang selanjutnya di *inputkan* didalam pemrosesan untuk membuat model 3D. Dalam *processing* data untuk model 3D untuk memperoleh ukuran yang sesuai dengan obyek maka dilakukan penyekalaan. Model 3D yang masih dalam bentuk *wire-frame* selanjutnya dilakukan pembangunan *surface*, dan *texturing* untuk memperoleh hasil *surface* yang sama dengan obyek. Selanjutnya pada Bab III ini seluruh tahapan mulai dari pemotretan sampai terbentuknya model 3D akan dibahas secara detail.

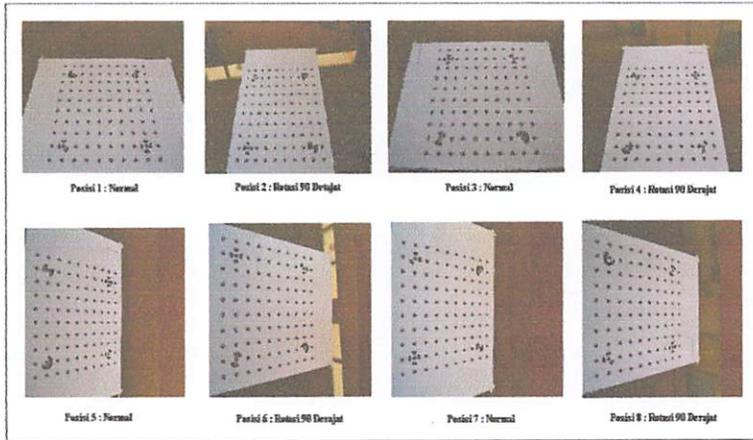
III.2.2. Pemotretan *Template* Kalibrasi

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 minimal 6 buah data foto. Berikut ini adalah gambaran dari pemotretan *template* kalibrasi kamera.



Gambar 3.3 Pemotretan *template* kalibrasi (sumber: *photomodeler.com*)

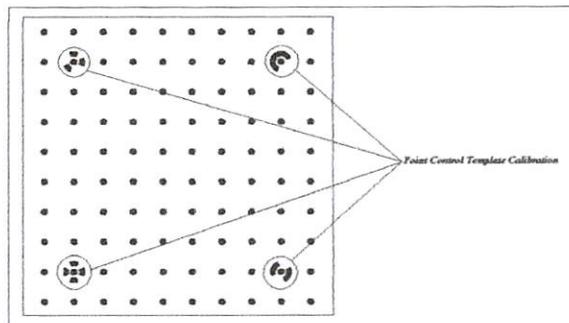
Dari pengambilan data kalibrasi tersebut, dihasilkan foto-foto yang berbeda. Berikut ini gambaran data foto yang selanjutnya akan diproses didalam *software photomodeller scanner*:



Gambar 3.4 Data foto untuk kalibrasi kamera (sumber: hasil penelitian)

III.2.3. Proses Kalibrasi Kamera

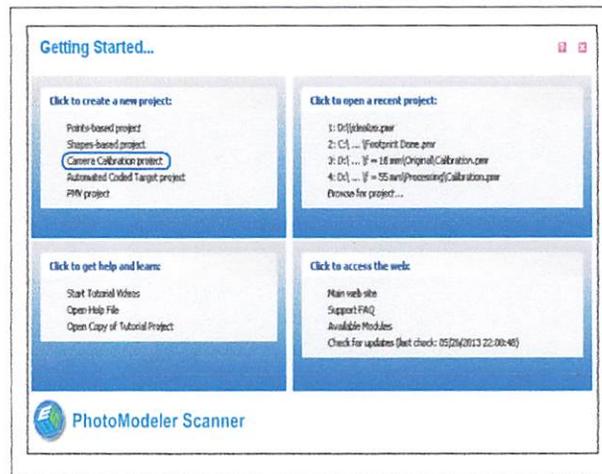
Proses kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan *software photomodeller scanner*. Proses ini memerlukan data foto dari *template kalibrasi* yang mana data foto *template kalibrasi* tersebut, harus terlihat semua keempat titik kontrolnya. Berikut merupakan gambaran *template kalibrasi* beserta keterangan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



Gambar 3.5 Template calibration (sumber: photomodeler.com)

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), *distorsi tangensial* (P_1, P_2), *distorsi 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 3.6 Langkah awal proses kalibrasi (sumber: photomodeler)

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

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).

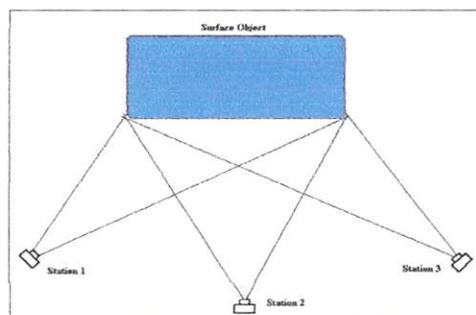
Photomodeller Scanner dapat mengimpor data 3D untuk perbandingan, pencocokan, dan sebagai titik kontrol dalam sebuah prosesing data. Format *file* masukan diterima adalah *DXF, OBJ Wavefront, 3D Studio 3DS, dan Raw File Text*. Eksport *Photomodeller* data 3D dengan format *3DS, Rhino 3DM, DXF, Filmbox 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 prasasti dan proses pembuatan model 3D dengan menggunakan *software photomodeller scanner*.

III.2.4. Pemotretan Objek 3D (Prasasti)

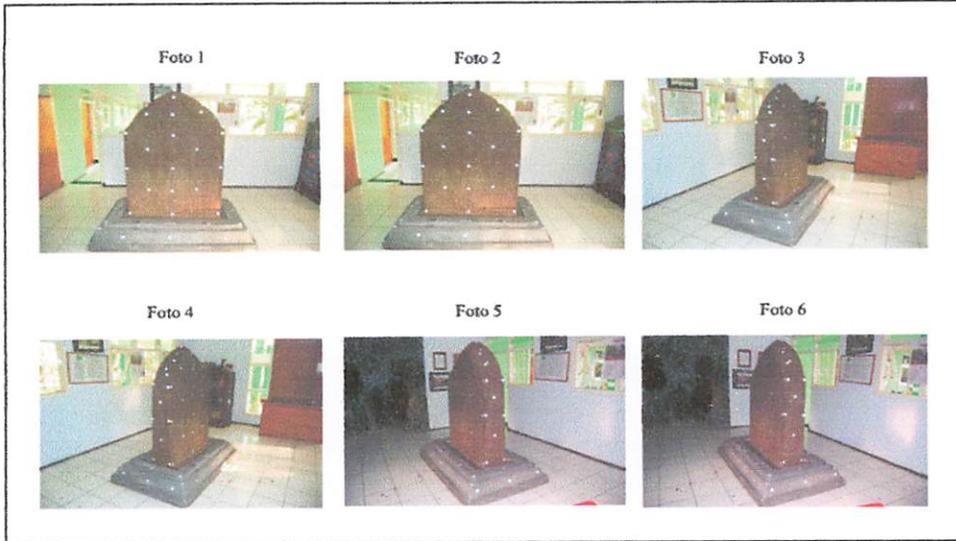
Didalam penelitian ini, objek yang akan dibentuk menjadi model 3D yaitu situs prasasti Puncang. Didalam pengambilan data foto untuk dijadikan objek model 3D didalam *software photomodeller scanner*, supaya mempermudah pemrosesan terdapat beberapa ketentuan sebagai berikut:

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 prasasti yang akan diproses didalam *photomodeller scanner*.

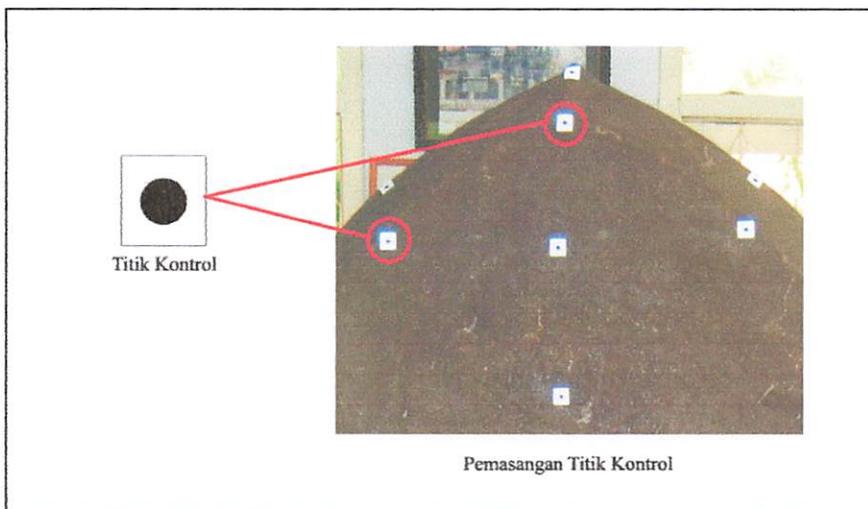


Gambar 3.9 Ilustrasi pengambilan data (sumber: *photomodeler.com*)



Gambar 3.10 Contoh foto salah satu sisi prasasti (sumber: hasil penelitian)

Sebelum dilakukan pemotretan terhadap objek 3D dari prasasti tersebut, hal yang perlu dilakukan yaitu pemasangan titik kontrol. Titik kontrol dipasang disetiap sisi prasasti, 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 prasasti.



Gambar 3.11 Pemasangan titik control (sumber: hasil penelitian)

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*.

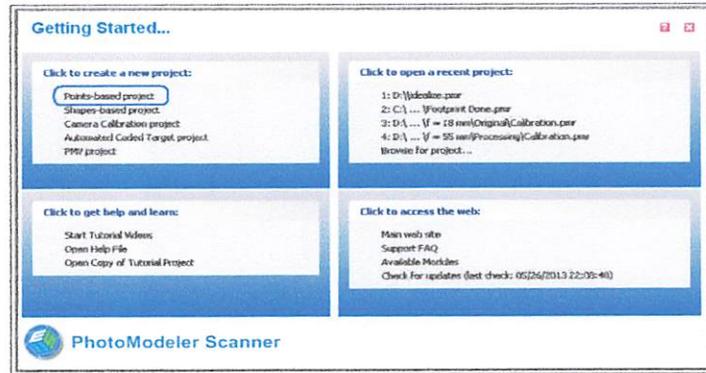
III.2.5. Pembuatan Model 3D dengan Menggunakan *Photomodeller Scanner*

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 *dense surface model*. Berikut ini langkah-langkah pembuatan model 3D dari metode *dense surface model*:

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

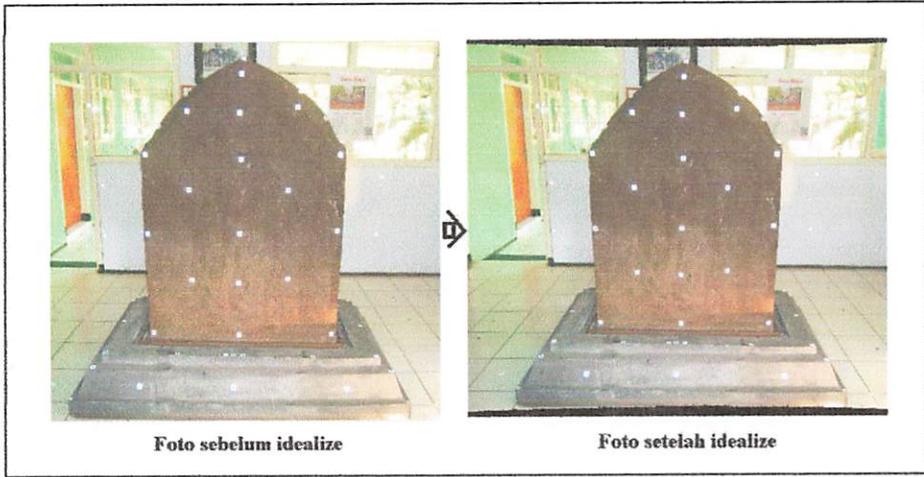
Dense surface model merupakan representasi digital dari bentuk model 3D dari kumpulan *point cloud*. Proses *DSM* mampu menciptakan sekumpulan *point-point* yang dihubungkan oleh garis hingga terbentuk permukaan segitiga yang disebut dengan *PointMesh*. Berikut ini tahapan dari pembuatan model 3D:

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.2.4. berikut tampilan awal pembuatan model 3D dengan *photomodeller scanner*.



Gambar 3.12 Langkah awal pembuatan model 3D (sumber: photomodeler)

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*.



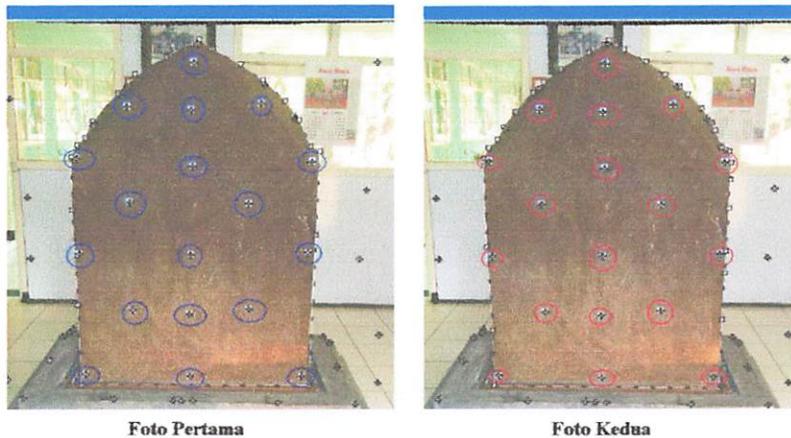
Gambar 3.13 Idealize (sumber: hasil penelitian)

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 3.14 Orientasi (sumber: hasil penelitian)

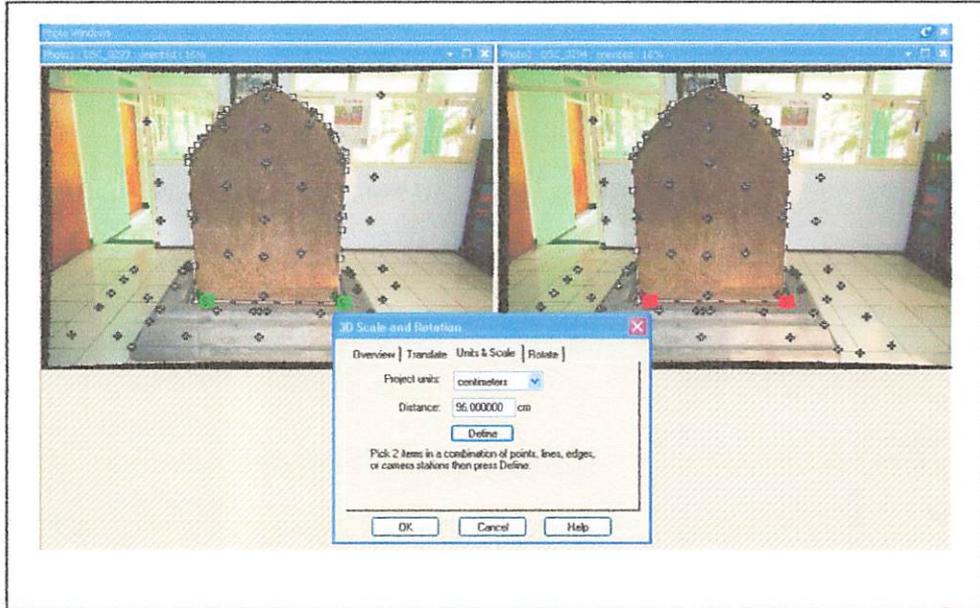
4. Untuk menyamakan titik yang telah diorientasi antara foto satu dengan foto lainnya dibutuhkan proses *referencing*. Proses ini berfungsi untuk menandai dua atau lebih foto yang berbeda objek fisiknya tetapi berada didalam ruang yang sama. *Reference* hanya dapat digunakan pada *Project* multi foto. 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 3.15 Referencing (sumber: hasil penelitian)

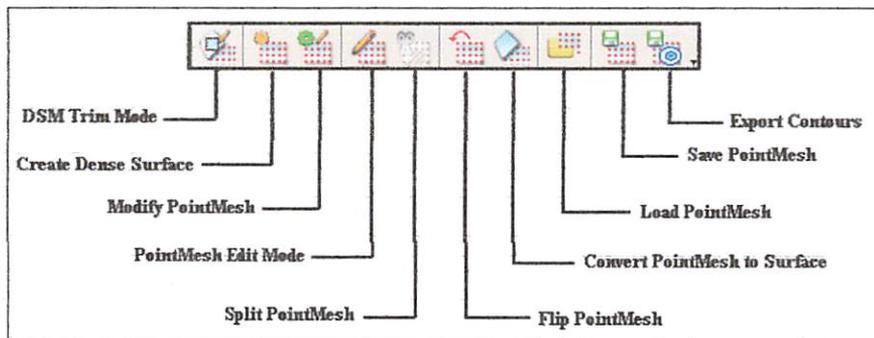
5. Proses selanjutnya yaitu penentuan koordinat 3D, parameter *eksterior orientasi (EO)*, dan parameter *interior orientasi (IO)*, yang dikenal dengan proses *bundle adjustment*. Sebelum melakukan *processing* data dari multi foto, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi supaya proses ini dapat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

Berikut ini adalah menu yang terdapat didalam *Dense Surface Mode*:



Gambar 3.17 Menu dense surface (sumber: software photomodeler)

Berikut ini penjelasan *tools* pada Gambar 3.17 yang disesuaikan dengan penggunaannya dalam penelitian ini.



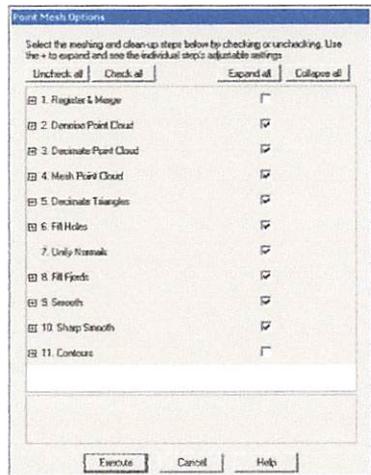
1.  *DSM Trim Mode* yaitu menu yang digunakan untuk membatasi area foto yang akan dijadikan model 3D dengan menggunakan metode *Dense Surface Model*.
2.  *Create Dense Surface* yaitu menu yang digunakan untuk membuat *Dense Surface* dari titik-titik objek 3D hasil proses *bundle adjustment*.
3.  *Modify 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*.. 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. Setelah proses *bundle adjustment*, dan muncul *3D view* hasil proses tersebut dengan nilai *rms* memenuhi syarat untuk melakukan pengolahan dengan menggunakan *tools dense surface*. Sebelumnya dilakukan penyekalaan terlebih dahulu. Selanjutnya pilih menu *DSM trim mode*  untuk membatasi *area* foto yang akan dijadikan model 3D.
2. 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*.

3. *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 3.18 Kotak dialog *pointmesh options* (sumber: *photomodeler*)

- **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 akurasinya.
 - 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 *rander 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.
4. *Surface* yang terbentuk dari *pointmesh* selanjutnya dikonversi hingga terbentuk permukaan yang solid dengan menggunakan menu *convert pointmesh to surface* .

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

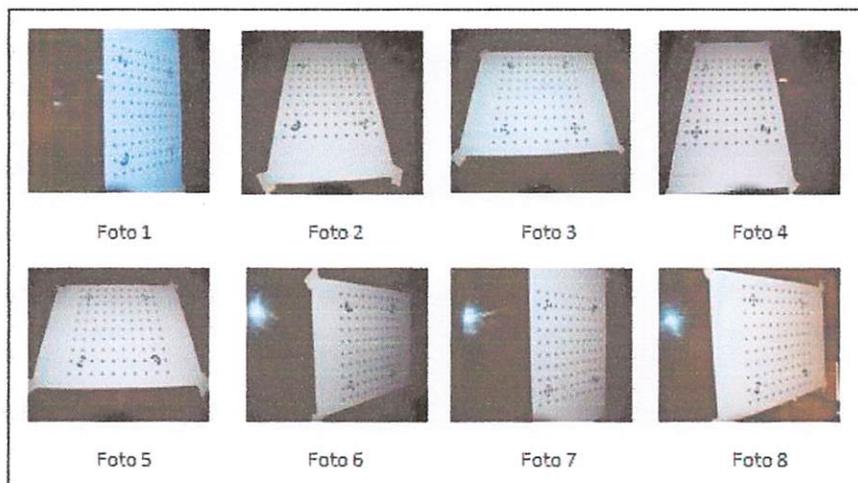
Hasil yang dicapai dari penelitian yang berjudul “Pembuatan Model 3 Dimensi (3D) Virtual Dengan Teknik Close Range Photogrammetry Bermetodekan Dense Surface” yaitu terbangunnya model 3D Prasasti Puncang. Dari model 3D yang terbentuk, terlihat seperti visualisasi objek yang sebenarnya. Dimana *surface* pada sisi-sisi prasasti hampir menyerupai warna aslinya yang dikarenakan datanya yang diperoleh berasal dari data foto. Aplikasi pemodelan 3D prasasti seperti ini dapat dimanfaatkan di bidang arsitektur, yaitu untuk kepentingan rekonstruksi. Ukuran 3D yang terbentuk menyerupai ukuran pada objek dikarenakan adanya faktor skala yang diperoleh dari pengukuran dari 2 titik kontrol dilapangan, hal ini dapat mempermudah dalam menghitung tinggi suatu objek tanpa harus mengukur tinggi objek yang sebenarnya. Pada Bab IV ini, akan diuraikan mengenai hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

IV.1. Parameter Kalibrasi Kamera

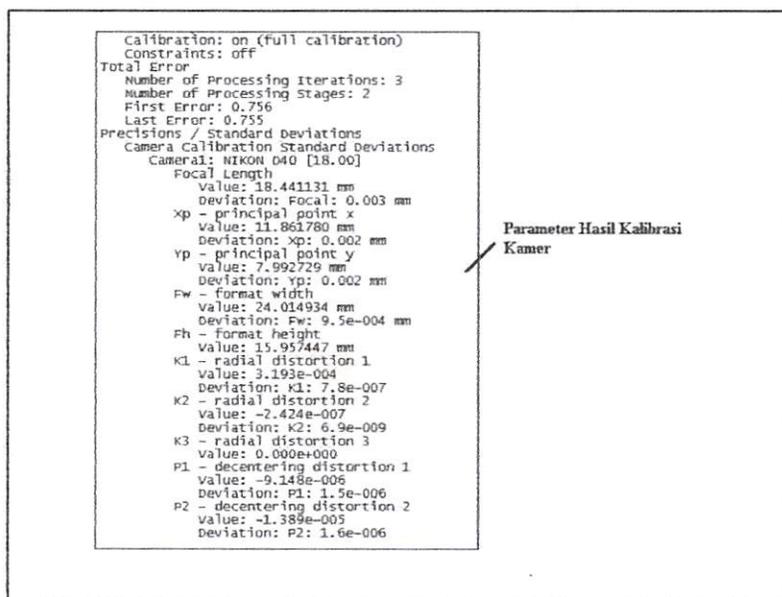
Parameter kalibrasi kamera diperoleh dari pemrosesan data foto *template kalibrasi*, dengan jumlah foto minimal yang digunakan didalam pemrosesan sebanyak minimal 6 buah. Dalam penelitian ini jumlah foto yang diproses untuk menentukan parameter kalibrasi kamera yaitu sebanyak 8 buah. Dalam pelaksanaannya 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 *fomat 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 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

No	Parameter	Nilai	Standart Deviasi
1	<i>Focal length (c)</i>	18.441131 mm	0.003 mm
2	<i>Principal point x (xp)</i>	11.861780 mm	0.002 mm
3	<i>Principal point y (yp)</i>	7.992729 mm	0.002 mm
4	<i>Format width (fw)</i>	24.014934 mm	9.5e-004 mm
5	<i>Format height (fh)</i>	15.957447 mm	-
6	<i>Radial distortion 1 (K₁)</i>	3.193e-004	7.8e-007
7	<i>Radial distortion 2 (K₂)</i>	-2.424e-007	6.9e-009
8	<i>Radial distortion 3 (K₃)</i>	0.000e+000	-
9	<i>Decentering distortion 1 (P₁)</i>	-9.148e-006	1.5e-006
10	<i>Decentering distortion 2 (P₂)</i>	-1.389e-005	1.6e-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 prasasti 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.

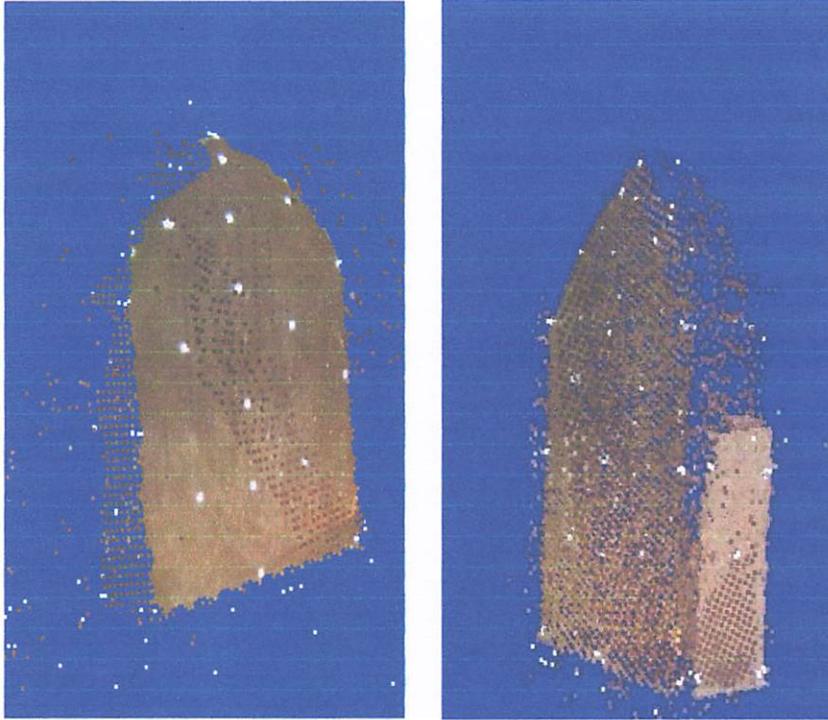


Foto-foto yang telah di Idealize

Gambar 4.3 Foto hasil idealize (sumber: hasil penelitian)

IV.2. Hasil Model 3D Sisi Prasasti di *Software Photomodeller Scanner*

Model 3D tiga dimensi yang terbentuk berasal dari data foto yang diproses dengan menggunakan *software photomodeller scanner*. Dalam pengolahan untuk membentuk model 3D dilakukan dengan menggunakan metode *dense surface*. Hal ini dikarenakan kondisi objek yang dijadikan model 3D yang cocok untuk difokuskan pada detailnya. Ukuran objek yang tidak terlalu besar memungkinkan pembentukan 3D dalam sekali proses saja yakni menggunakan *software photomodeller scanner*. Selain itu medan dan sudut pemotretannya pun mendukung. Hal itulah yang membuat pemrosesan model ini lebih baik menggunakan metode *dense surface model (DSM)*. Berikut ini merupakan hasil dari pembuatan model 3D menggunakan metode *dense surface model (DSM)* beserta nilai *rms* dari masing-masing titik hasil proses orientasi:



Gambar 4.4 Model 3D prasasti (sumber: hasil penelitian)

Ketelitian titik-titik yang dilakukan ketika proses orientasi dapat dilihat pada *table windows*, untuk melihat semua ketelitian titik yang dilakukan ketika proses orientasi dipilih *point table all*. Berikut gambaran *table window* untuk masing-masing titik.

Table windows																
Point table / All																
ID	No...	Photos	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X Precision	Y Precision	Z Precision	Precision Factor	Lightness (perce...)	Lightness (cm)	Angle (deg.)	Control Name	RMS Residual (cm/s)	Largest Residual (cm/s)	Photo Largest Residual
243	1,2,3...	-8.185...	-51.98...	-259.7...	0.7639...	0.6143...	0.7657...	1.2439...	0.0013...	0.6433...	69.326...			2.3324...	4.9424...	15
244	1,2,3...	20.026...	-50.79...	-264.4...	0.5265...	0.4141...	0.5395...	0.6474...	0.0052...	2.5277...	89.435...			5.2687...	14.448...	0
245	1,2,3...	42.304...	-57.31...	-289.5...	0.7086...	0.6061...	0.7346...	1.1971...	0.0026...	0.3149...	64.941...			2.5103...	4.0518...	15
246	3,4,5...	71.078...	-72.49...	-293.8...	0.6039...	0.5995...	0.8342...	1.1917...	0.0025...	1.2411...	66.099...			3.7422...	7.6733...	5
247	3,4,5...	99.597...	-56.13...	-350.1...	0.6328...	0.7257...	0.8687...	1.2960...	0.0046...	2.2381...	85.490...			6.1934...	13.308...	5
248	3,4,5...	138.07...	-41.97...	-333.0...	0.7052...	0.7018...	0.8622...	1.3166...	0.0053...	2.5991...	89.200...			6.5743...	13.394...	5
249	3,4,5...	117.66...	-74.93...	-288.1...	0.5598...	0.5546...	0.6997...	1.2226...	0.0042...	2.0564...	89.671...			6.3995...	10.952...	7
250	3,4,5...	89.644...	-90.60...	-231.5...	0.5713...	0.4987...	0.6619...	1.0066...	0.0144...	6.9583...	87.530...			15.798...	38.313...	0
252	1,2,3...	68.105...	-43.29...	-340.3...	0.6830...	0.6138...	0.7629...	1.1939...	0.0012...	0.6168...	69.890...			2.6099...	3.8998...	3
254	1,2,3...	85.157...	-41.16...	-367.4...	0.4884...	0.4988...	0.6402...	0.9471...	0.0056...	2.7106...	86.700...			7.1066...	16.667...	5
257	1,2,3...	74.269...	-29.54...	-360.3...	0.4950...	0.4979...	0.6675...	0.9637...	0.0049...	2.3730...	85.043...			6.5911...	14.599...	5
258	1,2,3...	66.361...	-25.21...	-395.3...	0.4790...	0.4769...	0.6341...	0.9269...	0.0052...	2.5334...	85.350...			6.6800...	16.147...	5
259	1,2,3...	38.983...	-44.72...	-286.7...	0.5316...	0.4652...	0.6377...	0.9517...	0.0016...	0.8734...	88.937...			3.0534...	6.3403...	5
261	1,2,3...	32.717...	-43.82...	-280.0...	0.5324...	0.4668...	0.6393...	0.9540...	0.0016...	0.8983...	85.135...			3.1375...	6.8522...	5
262	1,2,3...	35.030...	-42.58...	-294.3...	0.5332...	0.4689...	0.6412...	0.9560...	0.0020...	0.9960...	85.222...			3.3944...	7.5202...	5
263	1,2,3...	51.598...	-33.68...	-326.2...	0.4797...	0.4997...	0.6148...	0.9063...	0.0035...	1.7114...	89.910...			4.7346...	11.039...	5
264	3,4,5...	-22.04...	-20.35...	-253.7...	0.6253...	0.5000...	0.8968...	1.2074...	0.0020...	0.9984...	88.219...			3.7078...	5.5523...	8
265	3,4,5...	-31.35...	6.2976...	-252.3...	0.6210...	0.4703...	0.9053...	1.1975...	0.0034...	1.6483...	82.834...			6.6708...	11.163...	8
266	3,4,5...	-11.76...	4.1031...	-243.4...	0.6403...	0.4794...	0.8830...	1.1963...	0.0015...	0.7383...	82.649...			2.7542...	4.6390...	8
267	1,2,3...	-8.792...	3.7985...	-242.5...	0.7814...	0.5444...	0.7960...	1.1044...	0.0022...	1.0923...	73.425...			3.5299...	4.9962...	15
268	3,4,5...	-20.06...	27.005...	-242.2...	0.6329...	0.4875...	0.8968...	1.2011...	0.0035...	1.7059...	85.169...			6.4144...	9.2791...	5

Gambar 4.5 Table windows (sumber: hasil penelitian)

IV.3. Kendala yang dihadapi Selama Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa kendala, berikut ini merupakan beberapa kendala beserta solusi mengatasinya.

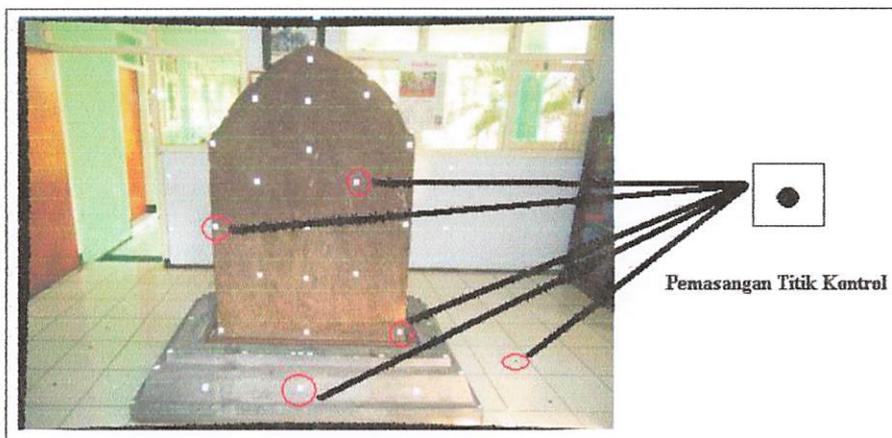
IV.3.1. Kalibrasi Kamera

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*.

IV.3.2. 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 prasasti tersebut misalnya tepi prasasti, lekukan prasasti, dan tanda lain yang terdapat pada dinding prasasti yang dapat dijadikan referensi dalam proses orientasi. Berikut ini adalah pemasangan titik kontrol pada prasasti.



Gambar 4.6 Pemasangan titik control (sumber: hasil penelitian)

IV.3.3. 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 prasasti ini tidak terlalu besar, hanya sedikit terlalu tinggi, selain itu posisi obyek terlalu dekat dengan tembok, sehingga mengakibatkan kesulitan pemrotetan pada suatu sisi, tidak dapat memotret obyek secara utuh. Ini sangat berpengaruh sekali terhadap hasil

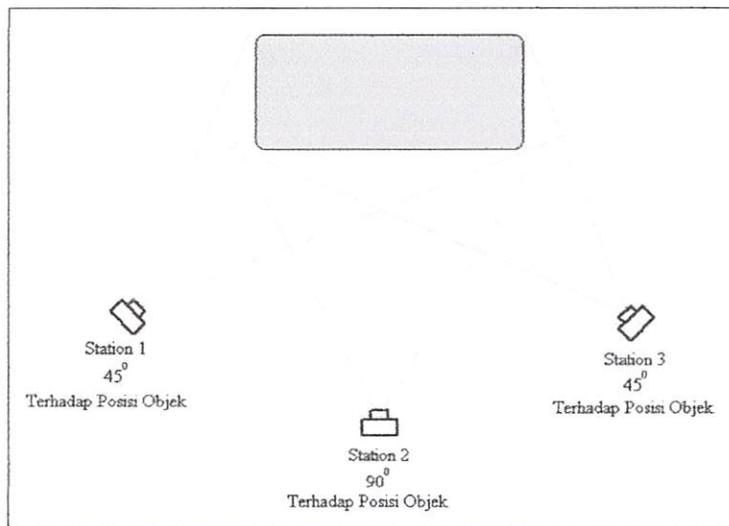
pembentukan 3D, karena di foto di sisi tersebut sangatlah minim titik kontrol yang dapat direferensikan. Sehingga bentuk surface 3D pada sisi ini (yang dekat dengan tembok) menjadi kurang baik karena kurangnya titik kontrol yang bereferensikan. Untuk sisi yang tidak dapat difoto secara utuh akan disertakan di dalam lampiran. 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* hingga terbentuk model 3D yang berupa sisi-sisi. Berikut merupakan gambaran pemotretan sisi sisi prasasti untuk dijadikan model 3D.



Gambar 4.7 Pemotretan prasasti tiap sisi (sumber: hasil penelitian)

Model 3D yang terbentuk terkadang memiliki *surface* yang tidak tegak lurus. 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 4.8 Ilustrasi pengambilan data (sumber: hasil penelitian)



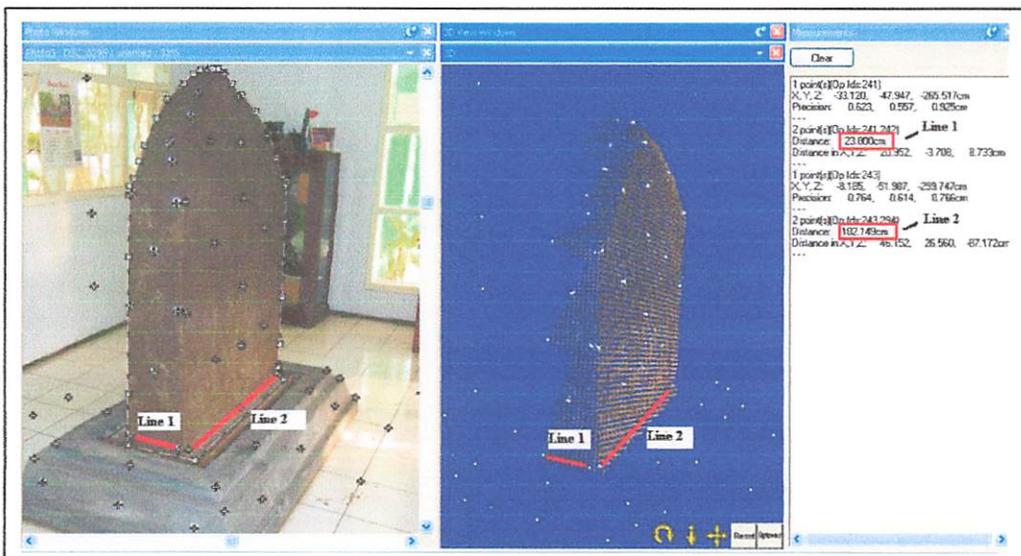
Dari gambar 4.8 tersebut data foto hasil pemotretan dari *station 2* dijadikan referensi untuk data foto yang diambil dari *station 1* dan *station 3* ketika dilakukan proses *referencing* didalam *software photomodeller scanner*.

IV.4 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 4.2 Hasil ukuran panjang objek untuk skala

No	Nama Line	Ukuran (m)
1	Line 1	0.23
2	Line 2	1.02



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

Dari data ukuran dilapangan dan dimensi model 3D yang terbentuk terdapat beberapa nilai yang berbeda. Berikut ini merupakan perbandingan antara data ukuran lapangan dengan dimensi model 3D yang terbentuk.

Tabel 4.3 Data ukuran dan dimensi model 3D

No	Nama <i>Line</i>	Ukuran Lapangan (m)	Dimensi Model 3D (m)	Selisih (mm)
1	<i>Line 1</i>	0.23	0.23	0
2	<i>Line 2</i>	1.02	1.0214	+1

Model yang terbentuk memiliki panjang *line* yang sedikit berbeda dengan ukuran sebenarnya, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- Kesalahan ketika melakukan pengukuran dilapangan karena hanya diukur menggunakan *roll* meter.
- Kesalahan ketika *marking point* yang disebabkan tidak tepatnya titik yang diukur dilapangan dengan titik yang di *marking*.
- Adanya perbedaan jarak antara objek yang terekam dengan *station* pemotretan yang mempengaruhi skala pada foto.

Selanjutnya untuk hasil lain yang belum disajikan didalam Bab IV ini dapat dilihat dilampiran. Pada Bab V akan membahas mengenai kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penelitian yang telah dilaksanakan.

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 prasasti minimal 2 buah.
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 obyek 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 objek, 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. 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.
4. Untuk mendapatkan model 3D yang utuh sebaiknya objek yang akan dijadikan model 3D terbebas dari penghalang dan seluruh objek tercover didalam satu foto.

5. Untuk ukuran dimensi lebih diperbanyak dan diperjelas lagi karena dapat dikembangkan dan berguna untuk keperluan topografi.

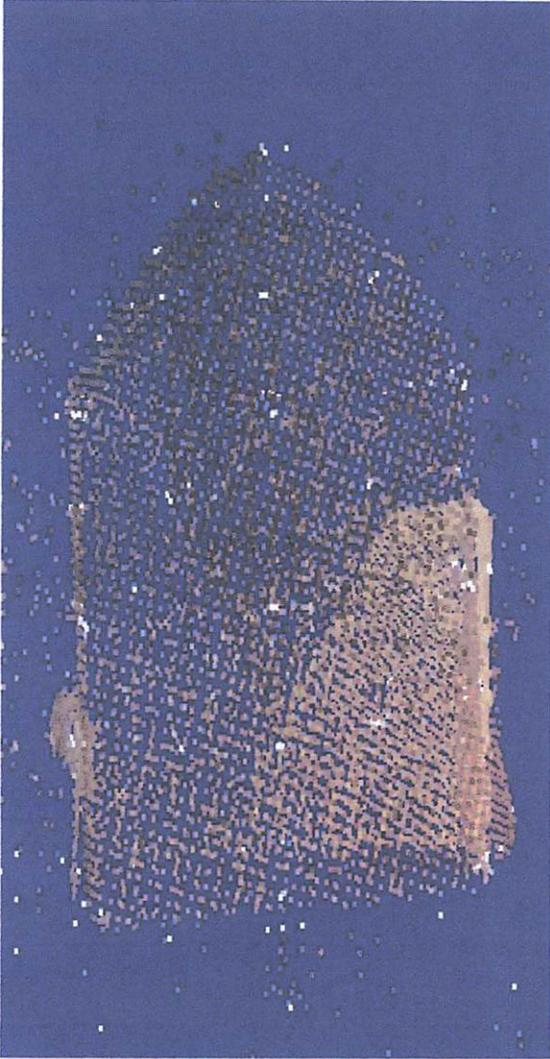
DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, Zainul. 2011. *Stereo Display and Position Detection for HMD*.
- 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.
- Brown D. C. 1971. *Desentring Distortion of Lens, PERS, 444-462*.
- Chandler, M.A., S.J. Richards, and M.J. Shopsis, 2005: EdGCM: Enhancing climate science education through climate modeling research projects. In *Proceedings of the 85th Annual Meeting of the American Meteorological Society, 14th Symposium on Education, Jan 8-14, 2005, San Diego, CA*, P1.5.
- Fedak, M. 2001. *Close-Range Photogrammetry Techniques Utilizing Close to The Camera Metrics Combined with Total Station for Production Quality Control Ship*.
- Fraser, Clive. 1997. *Digital Camera Calibration Methods: Considerations And Comparisons*.
- FRYER, J. G.. *Camera Calibration*. In : ATKINSON, K.B., *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. [S.I.] : Whittles, 1996.
- Habib, A., Ghanma, M. And Tait, M., 2004. *Integration of Lidar and photogrametry for close range applications. The International Archives of Photogrametry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIV, Part B2*.
- Ioannidis, C., Psaltis, C., 2006. *An Automatic Technique For Accurate Non Contact Structural Deformation Measurements*.

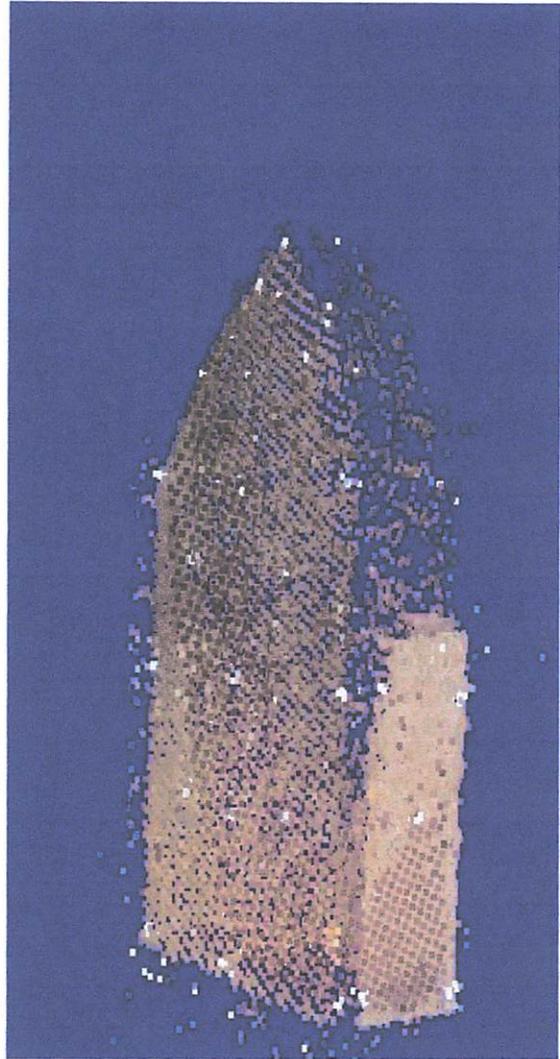


- Karara, H.M and Adams, L.P (1989). *Non-topographic photogrammetry*. 2nd Edition, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia.
- Kraus, Karl. 2002. *Photogrammetry, Volume I, Fundamental and Standard Processes*. Dümmler, Köln. Institute of Photogrammetry and Remote 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.
- Pramono, Andi. 2012. *Photomodelling untuk Dokumentasi Arsitektur*.
- Rahma, N. 2007. Tesis Studi Penggunaan Kamera Digital *Low-Cost Non-Metric Auto-Focus* untuk Pemantauan Deformasi.
- 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.
- Salma, C. C. 1980. *Manual of Photogrammetry, 4th ed.*, American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia.
- 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*.
- <http://www.geodesy.gd.itb.ac.id> diakses pada 20 Agustus 2013.

LAMPIRAN

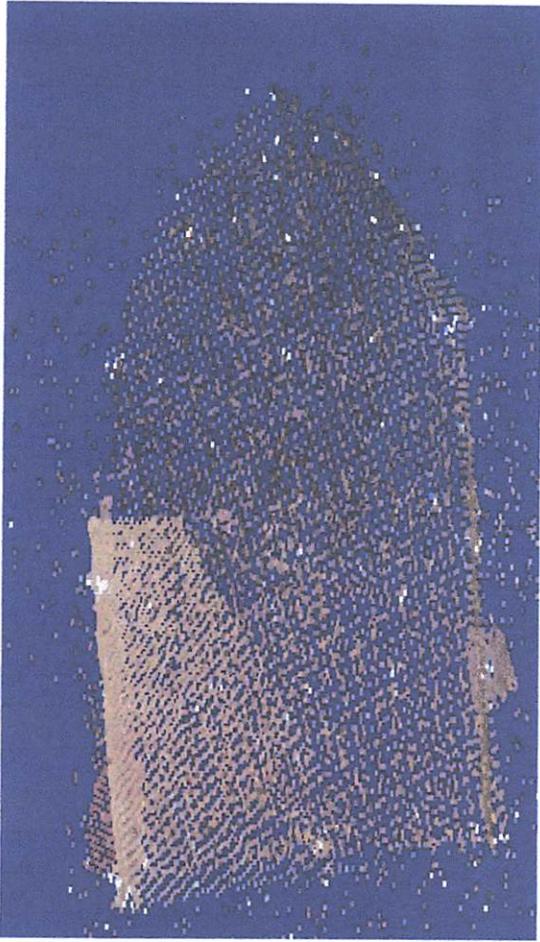


TAMPAK DEPAN

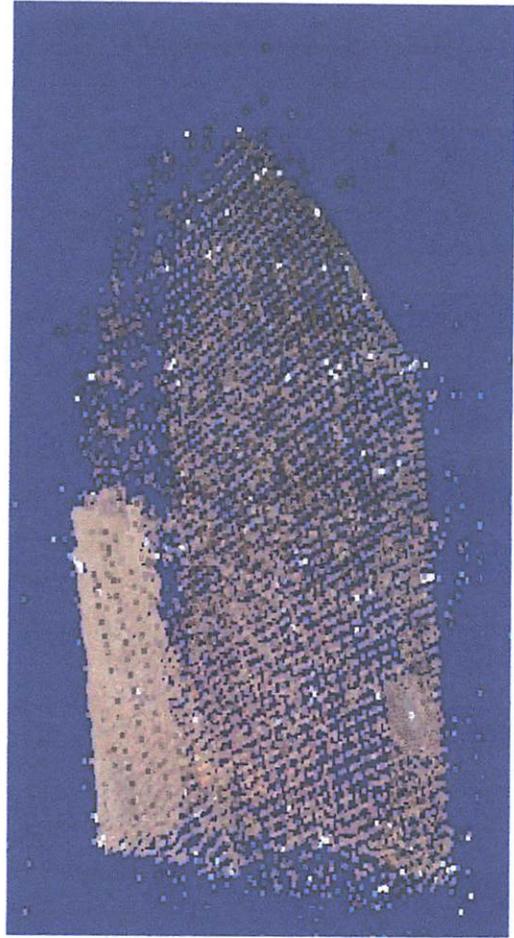


TAMPAK DEPAN SAMPIING





TAMPAK BELAKANG



TAMPAK BELAKANG SAMPING