

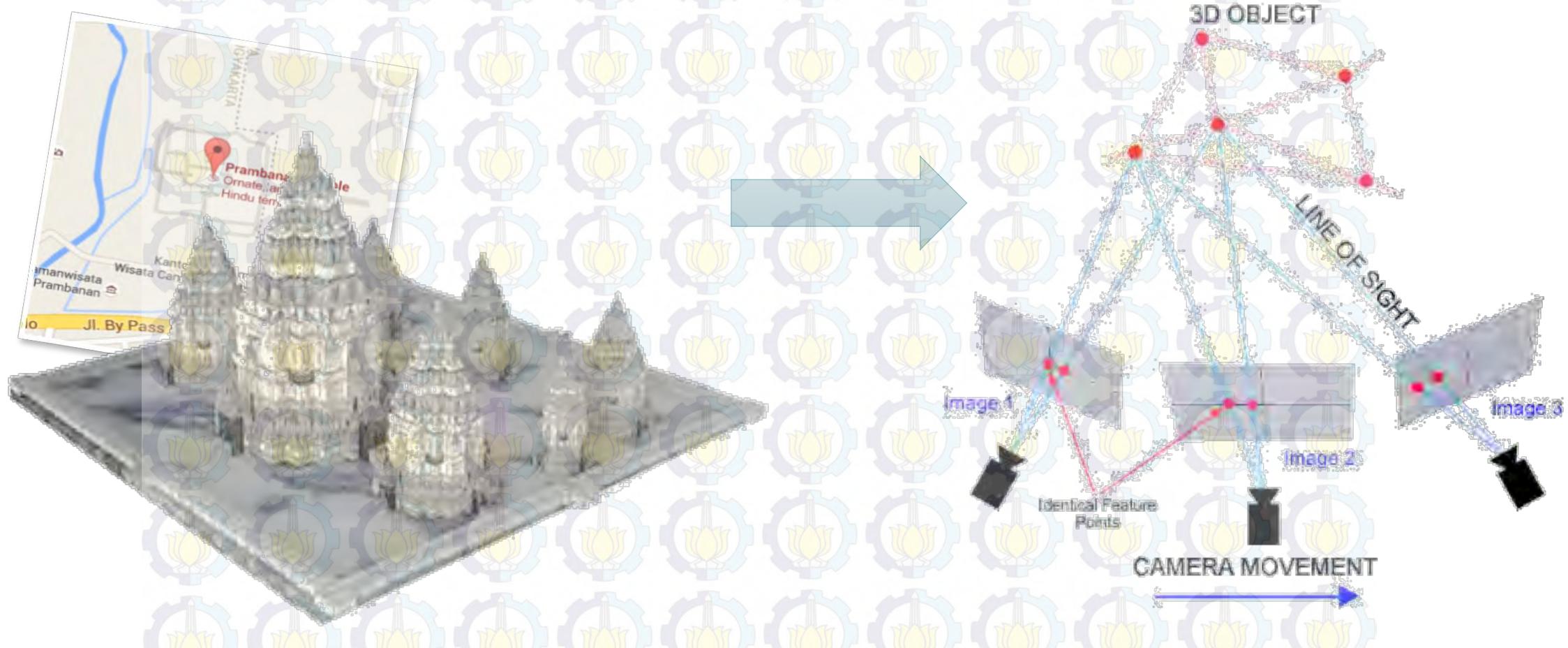


PEMANFAATAN FOTOGRAFETRI RENTANG DEKAT UNTUK PEMODELAN 3D CAGAR BUDAYA MENGGUNAKAN KAMERA NON-METRIK DSLM DAN DSLR (STUDI KASUS: CANDI BRAHU, MOJOKERTO)

Moch Sani Salam
3512100057

LATAR BELAKANG

■ Model 3D Penting



LATAR BELAKANG

■ Fotogrametri Rentang Dekat



Mendapatkan informasi ukuran dan bentuk obyek melalui analisis terhadap rekaman gambar

**Posisi kamera dengan objek berdekatan
 $< 100 \text{ m}$**

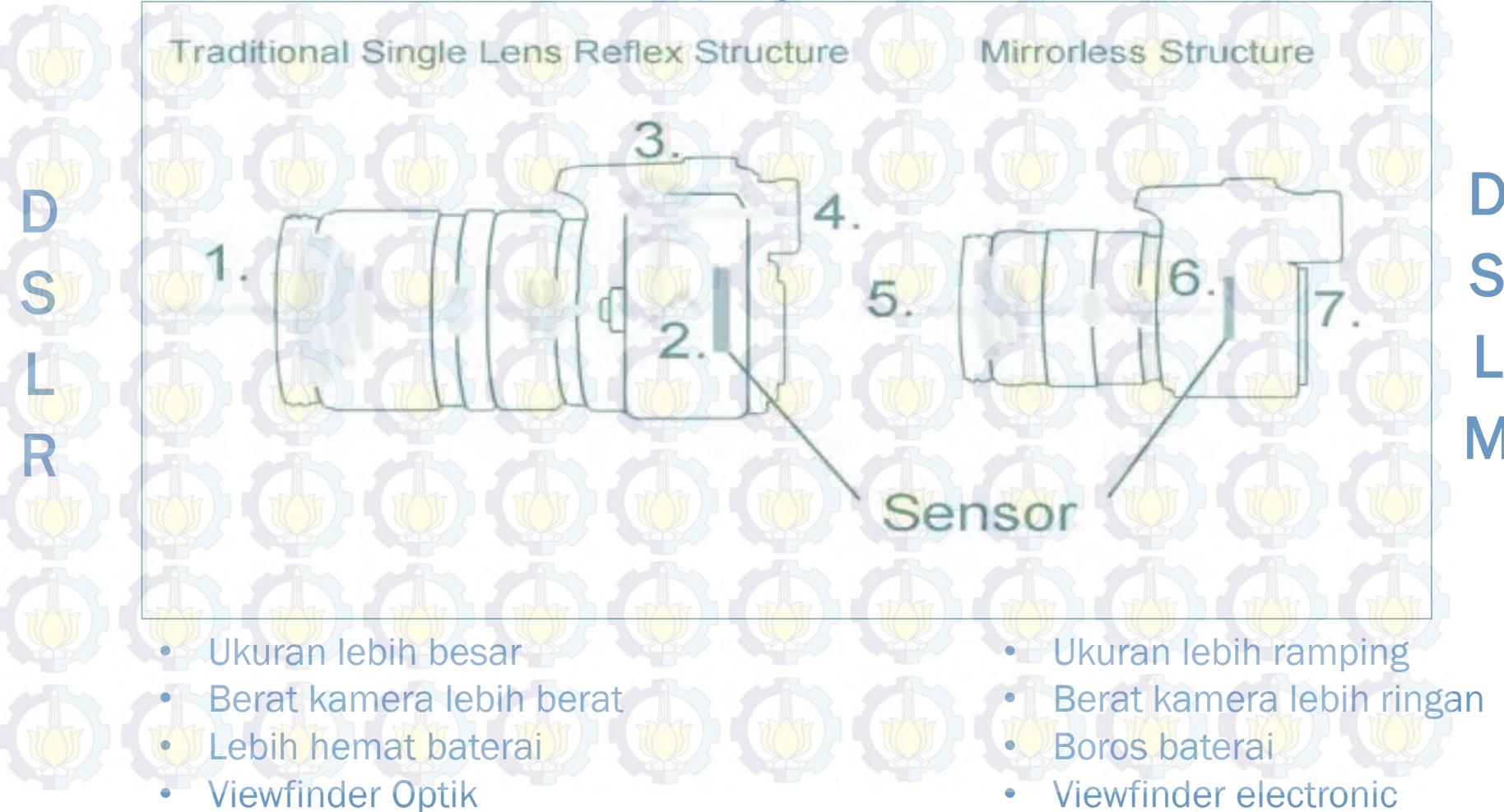
Tidak kontak langsung dengan objek
Akuisisi data dilakukan dengan cepat
Dapat digunakan untuk objek tak beraturan
Memiliki nilai ekonomis



LATAR BELAKANG

■ Perkembangan Kamera Non-metrik

*DSLM tidak mempunyai Prisma dan Cermin



LATAR BELAKANG

■ Perlu Dilakukan Pelestarian Candi Brahu



*Bagian atas candi hilang tersisa ±20m

*Dulunya di sekitar Candi Brahu masih terdapat beberapa candi lain yang sekarang sudah runtuh diantaranya: Candi Muteran, Candi Gedong, Candi Tengah, dan Candi Gentong

*Pelestarian Cagar Budaya harus didukung oleh kegiatan pendokumentasian sebelum terjadi perubahan keasliannya.

TUJUAN

1

Mendapatkan parameter orientasi dalam (IOP) kamera yang digunakan untuk pemodelan.

2

Membuat model 3D Candi Brahu dengan metode fotogrametri rentang dekat menggunakan kamera *DSLM* dan *DSLR*.

3

Analisa ketelitian geometrik model berdasarkan perbandingan koordinat pengukuran *Total Station* dengan koordinat model.

BATASAN MASALAH

Objek Studi dari penulisan
Tugas Akhir ini adalah Candi
Brahu di Trowulan,
Mojokerto.



Kamera yang digunakan untuk
akusisi data adalah kamera
non-metrik *DSLM* dan *DSLR*.

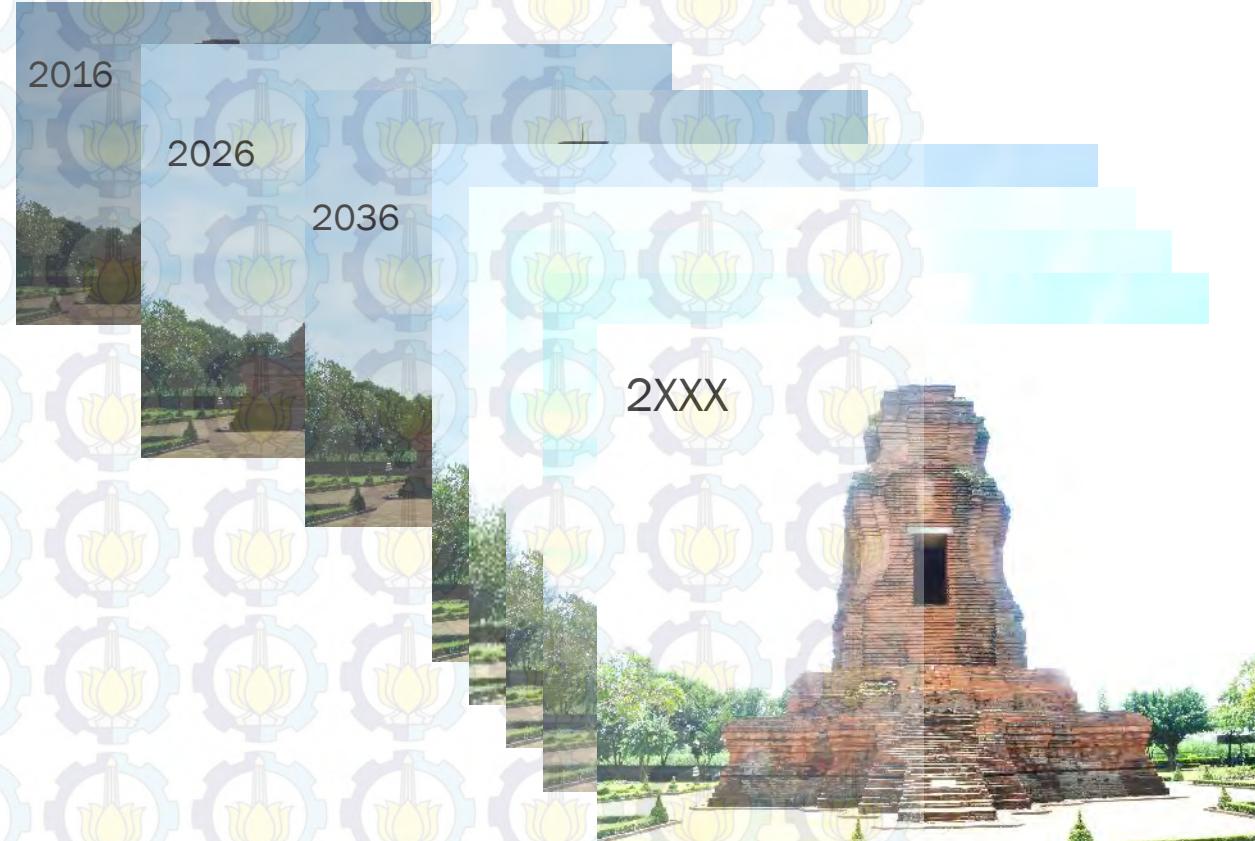
Metode yang dipakai untuk
pemodelan Cagar Budaya ini
adalah fotogrametri rentang
dekat.

Pengambilan foto objek
adalah dengan metode
terrestrial.

Produk yang dihasilkan
adalah model 3D Candi
Brahu.

MANFAAT

Terjaganya warisan budaya berupa Cagar Budaya Indonesia dengan pendokumentasian model 3D. Sehingga diharapkan dapat membantu rekonstruksi Candi Barhu apabila terjadi sesuatu yang dapat merubah bentuk dan ukuran di masa yang datang.



Studi Literatur

Fotogrametri Rentang Dekat

Terminologi Close Range atau Rentang Dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. 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)



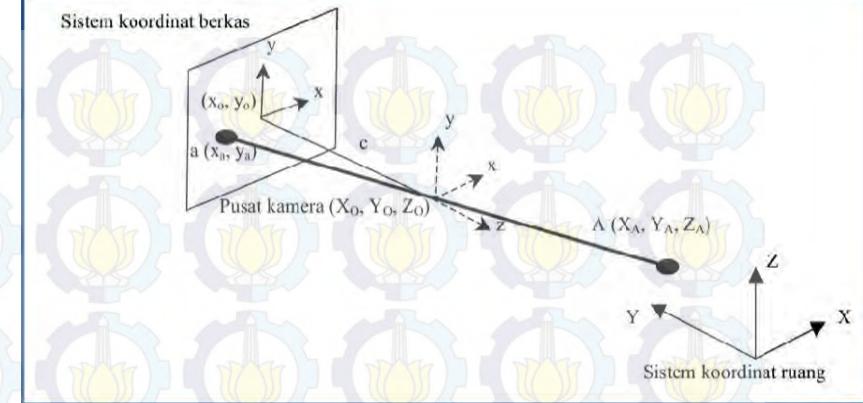
Studi Literatur

Colinearity

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).

Dimana

- x_a, y_a = Koordinat titik A di foto
- x_0, y_0 = Koordinat titik utama
- X_A, Y_A, Z_A = Koordinat titik A di permukaan bumi
- X_L, Y_L, Z_L = Koordinat pusat pemotretan
- c = Panjang fokus kamera
- r_{ij} = Elemen matriks rotasi
- Elemen dari matriks rotasi diberikan pada persamaan:



$$\begin{aligned} x_a - x_0 &= -c \left(\frac{r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(Z_A - Z_L) + r_{13}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)} \right) \\ y_a - y_0 &= -c \left(\frac{r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(Z_A - Z_L) + r_{23}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)} \right) \end{aligned} \quad \dots(2.1)$$

$$R = R\omega R\varphi R\kappa = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \dots(2.2)$$

Dimana

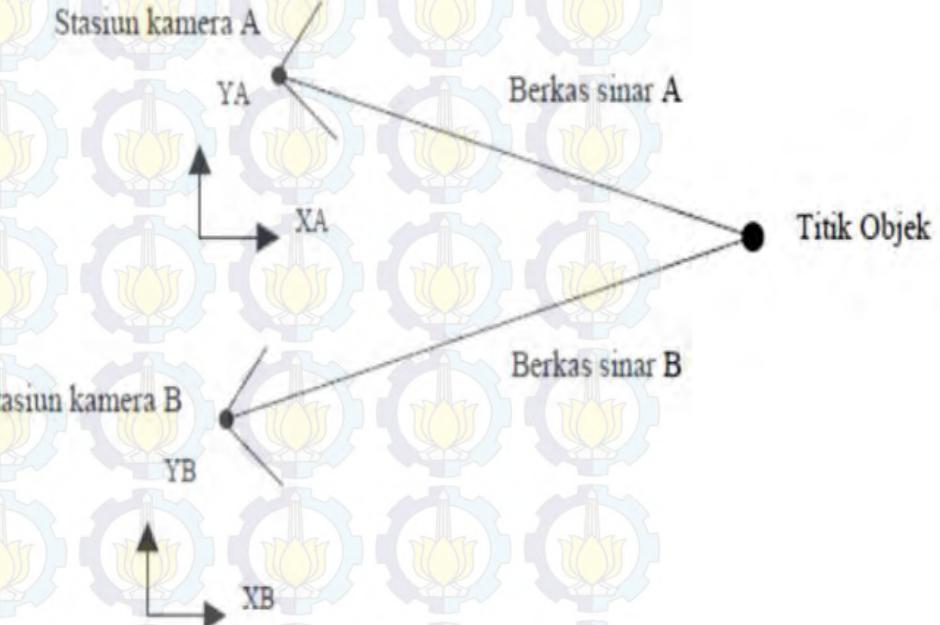
$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos \varphi \cos \kappa \\ r_{12} &= \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \\ r_{13} &= -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\ r_{21} &= -\cos \varphi \sin \kappa \\ r_{22} &= -\sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos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

Studi Literatur

Interseksi Spasial

Untuk mendapatkan posisi objek pada dunia nyata, maka diperlukan berkas sinar objek yang sama dari foto lainnya (Leitch, 2010). 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, 2000).

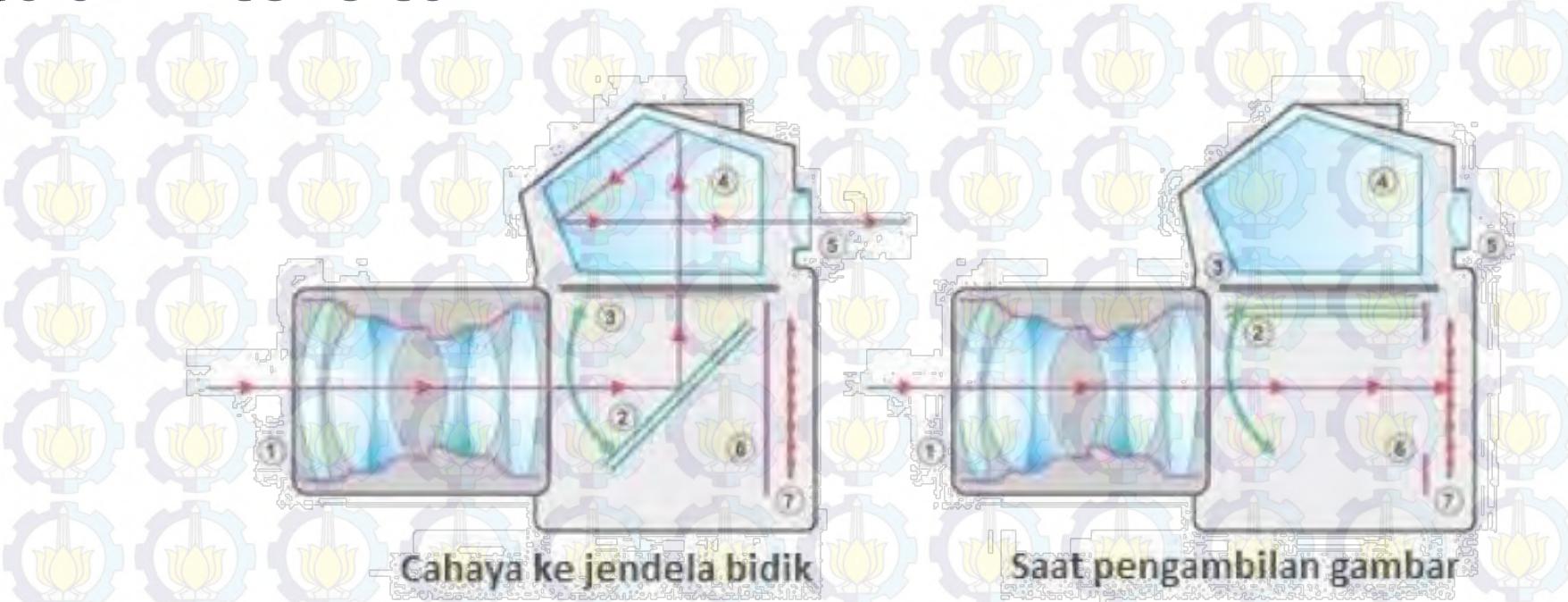


Studi Literatur

Cagar Budaya

Menurut UU Nomor 11 Tahun 2010 pasal 1 ayat 1, yaitu “Cagar Budaya adalah warisan budaya bersifat kebendaan berupa Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, Struktur Cagar Budaya, Situs Cagar Budaya, dan Kawasan Cagar Budaya di darat dan/atau di air yang perlu dilestarikan keberadaannya karena memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan melalui proses penetapan benda, bangunan, atau struktur dapat diusulkan sebagai Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, atau Struktur Cagar Budaya”.

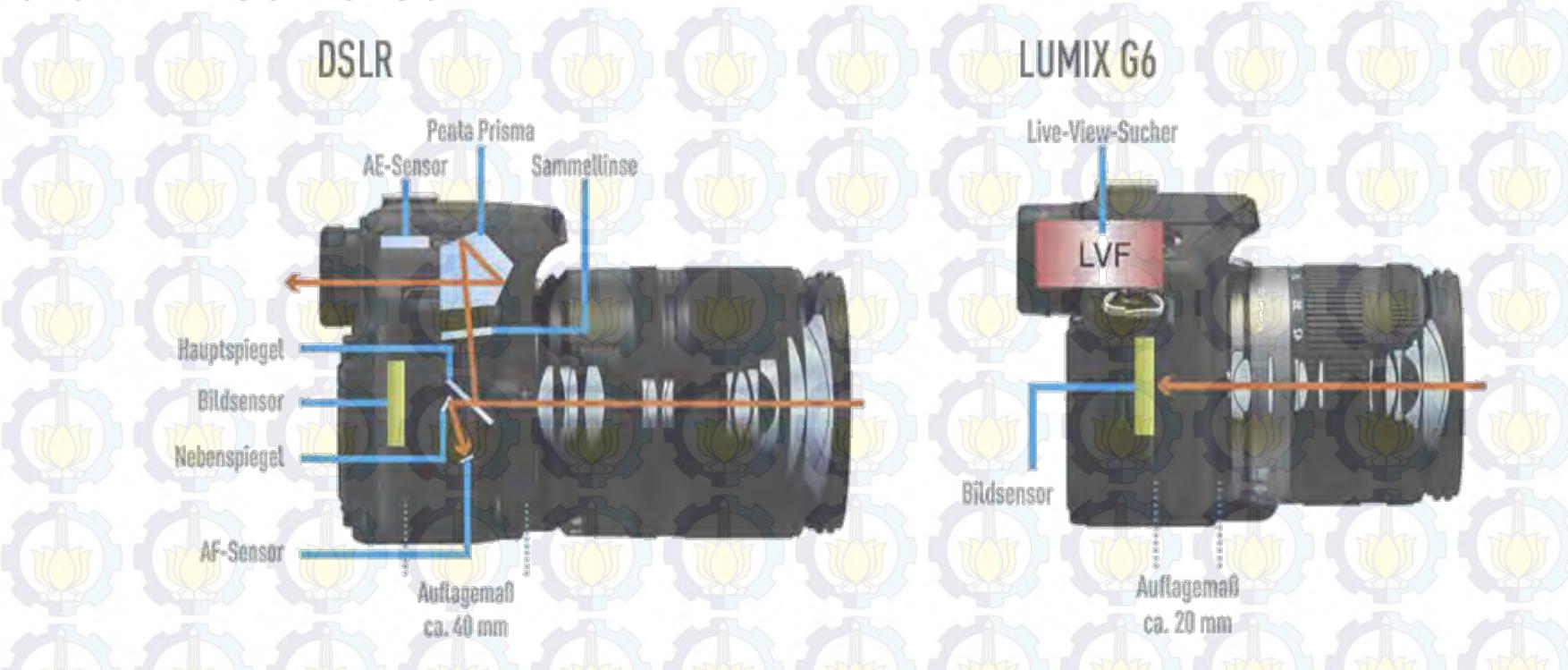
Studi Literatur



Kamera DSLR

Digital Single Lens Reflex (Digital SLR atau DSLR) adalah kamera digital yang menggunakan sistem cermin otomatis dan pentaprisma atau pentamirror untuk meneruskan cahaya dari lensa menuju ke viewfinder.

Studi Literatur



Kamera DSLM

Digital Single Lens Mirrorless (DSLM) merupakan teknologi baru pada kamera dimana didapat dengan membuang cermin yang ada di DSLR (Novianty, 2015). Konsekuensinya adalah menghemat ukuran dan berat kamera (serta menghemat harga), namun kita kehilangan viewfinder optik, oleh karena itu kamera mirrorless menggunakan sistem viewfinder elektronis (EVF – electronic viewfinder).

Studi Literatur

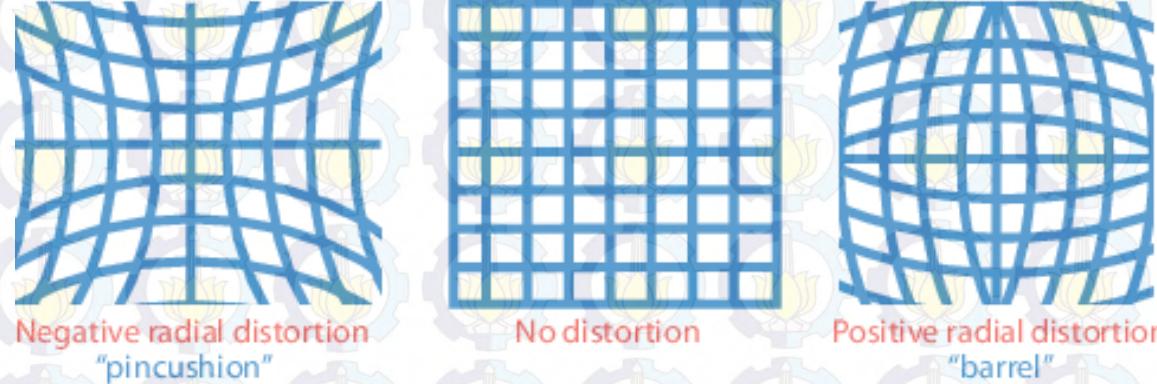
Kalibrasi Kamera

Dalam fotogrametri akurasi objek yang dihasilkan tergantung pada kalibrasi kamera. Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter internal kamera (IOP) meliputi principal distance (f), titik pusat fidusial foto (x_0, y_0), 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 (skew) (Fraser, 1997).

Salah satu metode yang dipakai untuk kalibrasi kamera adalah self-calibration. Pada self-calibration pengukuran titik-titik target pada objek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan koordinat titik objek dan parameter exterior orientasi dari kamera sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera. (Atkinson, 1996).

Dalam 3D computer vision teknik ini dilakukan hanya dengan mengambil beberapa foto statik scene dengan posisi kamera yang berpindah pindah. Foto diambil dengan kamera yang sama dan dengan pengaturan yang sama pula. Korespondensi antara tiga gambar cukup untuk mendapatkan parameter internal dan eksternal yang memungkinkan kita untuk merekonstruksi 3D.

Studi Literatur



Distorsi Radial

Menurut ASP (1980) dalam Wigrata (1986) distorsi radial adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. Distorsi radial menyebabkan posisi gambar mengalami distorsi sepanjang garis radial dari titik utama.

Koefisien distorsi radial memodelkan tipe dari distorsi yang dimiliki. Persamaan untuk mencari koefisien distorsi radial (k_1, k_2, k_3) adalah sebagai berikut (Zhang, 2000):

$$\begin{aligned}x_{\text{distorted}} &= x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \\y_{\text{distorted}} &= y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)\end{aligned}\quad \dots(2.5)$$

dimana
 $(x_{\text{distorted}}, y_{\text{distorted}})$ = Titik yang terdistorsi
 (x, y) = Lokasi Titik tidak terdistorsi pada koordinat foto normalisasi
 k_1, k_2, k_3 = koefisien distorsi lensa
 r^2 = x^2+y^2

Studi Literatur

Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial adalah pergeseran linear titik foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. Distorsi tangensial terjadi karena kesalahan dalam mengatur titik pusat lensa pada gabungan lensa (sentering) (Wolf, 1983).

Persamaan untuk mencari koefisien distorsi tangensial (p_1 , p_2) adalah sebagai berikut (Zhang, 2000):

$$\begin{aligned}x_{\text{distorted}} &= x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)] \\y_{\text{distorted}} &= y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy] \quad \dots(2.7)\end{aligned}$$

dimana

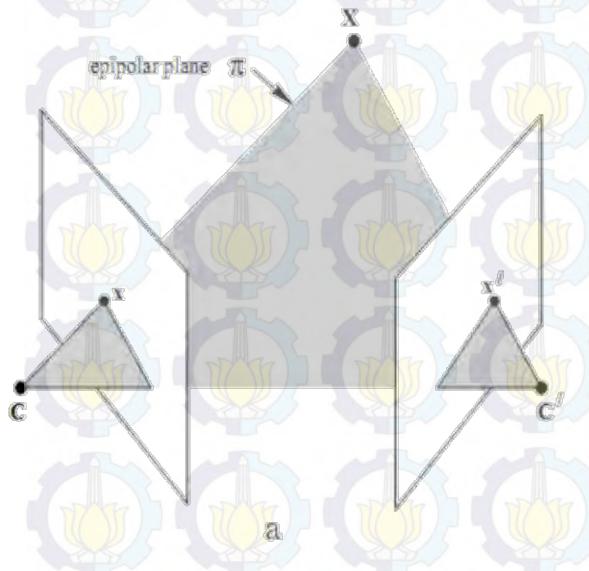
$(x_{\text{distorted}}, y_{\text{distorted}})$ = Titik yang terdistorsi
 (x, y) = Lokasi Titik tidak terdistorsi pada koordinat foto normalisasi
 K_1, K_2, K_3 = koefisien distorsi lensa
 r^2 = x^2+y^2

Studi Literatur

Epipolar Image

Dalam Rachmawati (2012), Hartley mengatakan dalam rekonstruksi 3D Epipolar geometry merupakan teknik yang digunakan untuk mendapatkan persesuaian antara dua citra. Jika dua kamera melihat sebuah scene, maka terdapat geometri yang menghubungkan antara titik-titik 3D yang diamati dengan 2D proyeksinya.

Jika X adalah sebuah titik 3D dicitrakan dalam dua sudut pandang, pada citra pertama x dan citra kedua x' . Titik citra x dan x' , titik ruang X , dan pusat kamera C dan C' adalah sebidang (coplanar), dan semua terletak pada bidang epipolar π



Epipolar dapat digunakan agar memudahkan untuk melakukan pencocokan untuk rekonstruksi citra, wilayah pencarian akan disempitkan pada garis epipolar.

Studi Literatur

Image Matching

Image matching merupakan aspek dasar dalam menyelesaikan banyak masalah dalam komputer vision, termasuk *object recognizing*, pemecahan struktur 3D menjadi beberapa gambar, korespondensi stereo, dan *motion tracking*. Teknik ini digunakan untuk mencari *keypoint* dalam gambar. Dalam proses *image matching* fitur itu digunakan untuk mendeteksi ke identikan gambar. Bahkan kita bisa menguji keaslian sebuah pola gambar apakah diambil dari gambar yang sebenarnya atau tidak. Untuk mencari persamaan gambar maka dilakukan pencocokan vektor dari tiap gambar.

Studi Literatur

Feature extraction

Feature extraction digunakan untuk mengesektrak titik menjadi *dense point cloud*. Metode ini merupakan metode semi-otomatis untuk memodelkan objek yang memiliki tekstur. Proses pembentukan *Dense point cloud* mampu menghasilkan *point cloud* yang sangat kecil dan rapat. Pembentukan model 3D menghasilkan bentuk yang sesuai dengan keadaan atau objek yang sebenarnya. Pemrosesan data foto pada metode ini dilakukan secara *stereo matching*. Hasil *point cloud* yang terbentuk bergantung pada proses *image matching* area foto yang saling bertampalan.

Studi Literatur

Pembentukan Surface

Rekonstruksi surface pada pemodelan 3D berasal dari *point cloud* yang dihasilkan pada tahapan sebelumnya. Poligon permukaan obyek terbentuk berdasarkan titik-titik *dense point cloud*. Poligon-poligon tersebut membentuk segitiga yang bergabung satu sama lain, sehingga membentuk suatu permukaan objek yang solid.

Faces/ surface pada Agisoft PhotoScan merupakan suatu permukaan yang terbentuk dari poligon, sedangkan *Vertex* merupakan titik-titik perpotongan antar poligon yang terbentuk dari minimal tiga atau lebih *faces/ surface*.

Studi Literatur

Strength of Figure

Strength of figure adalah kekuatan dari bentuk kerangka yang digunakan untuk menentukan kekuatan kerangka dari jaringan geodesi menggunakan gambar, di mana keuatannya akan setara dengan kerangka yang akan dibuat di lapangan. Nilai *strength of figure* dipengaruhi oleh penentuan posisi dan jumlah GCP yang digunakan, dimana hal ini akan menentukan ketelitian kerangka tersebut.

Geometri dari suatu jaringan dapat dikarakterisir dengan beberapa parameter, seperti jumlah dan lokasi titik dalam jaringan (termasuk titik tetap), jumlah *baseline* dalam jaringan (termasuk *commonbaseline*), konfigurasi *baseline* dan *loop*, serta konektivitas titik dalam jaringan (Abidin, 2002).

$$SOF = \frac{\text{trace}(A^T \cdot A)^{-1}}{u} \quad \dots(2.14)$$

Studi Literatur

Uji statistik *t-test*

Uji statistik t-test merupakan teknik analisis untuk membandingkan satu variabel bebas. Uji statistik t-test digunakan untuk menguji apakah nilai tertentu berbeda secara signifikan atau tidak dengan rata-rata sebuah sampel. Uji t-test digunakan untuk uji statistik sampel kecil ($n < 30$).

$$\begin{aligned}x_1 &= \mu - ((t_{n-1}, 1/2\alpha * \sigma_v) / \sqrt{n}) \\x_2 &= \mu + ((t_{n-1}, 1/2\alpha * \sigma_v) / \sqrt{n})\end{aligned}\quad | \dots(2.15)$$

Rumus diatas digunakan untuk uji t-test, dengan nilai pengukuran batas bawah (x_1), nilai pengukuran batas atas (x_2), rata-rata pengukuran (μ), level of significance (α), simpangan baku (σ_v) dan n merupakan jumlah sampel (Blank, 1982).

Metodologi Penelitian

■ Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Candi Brahu:

Dusun : Bejijong

Desa : Bejijong

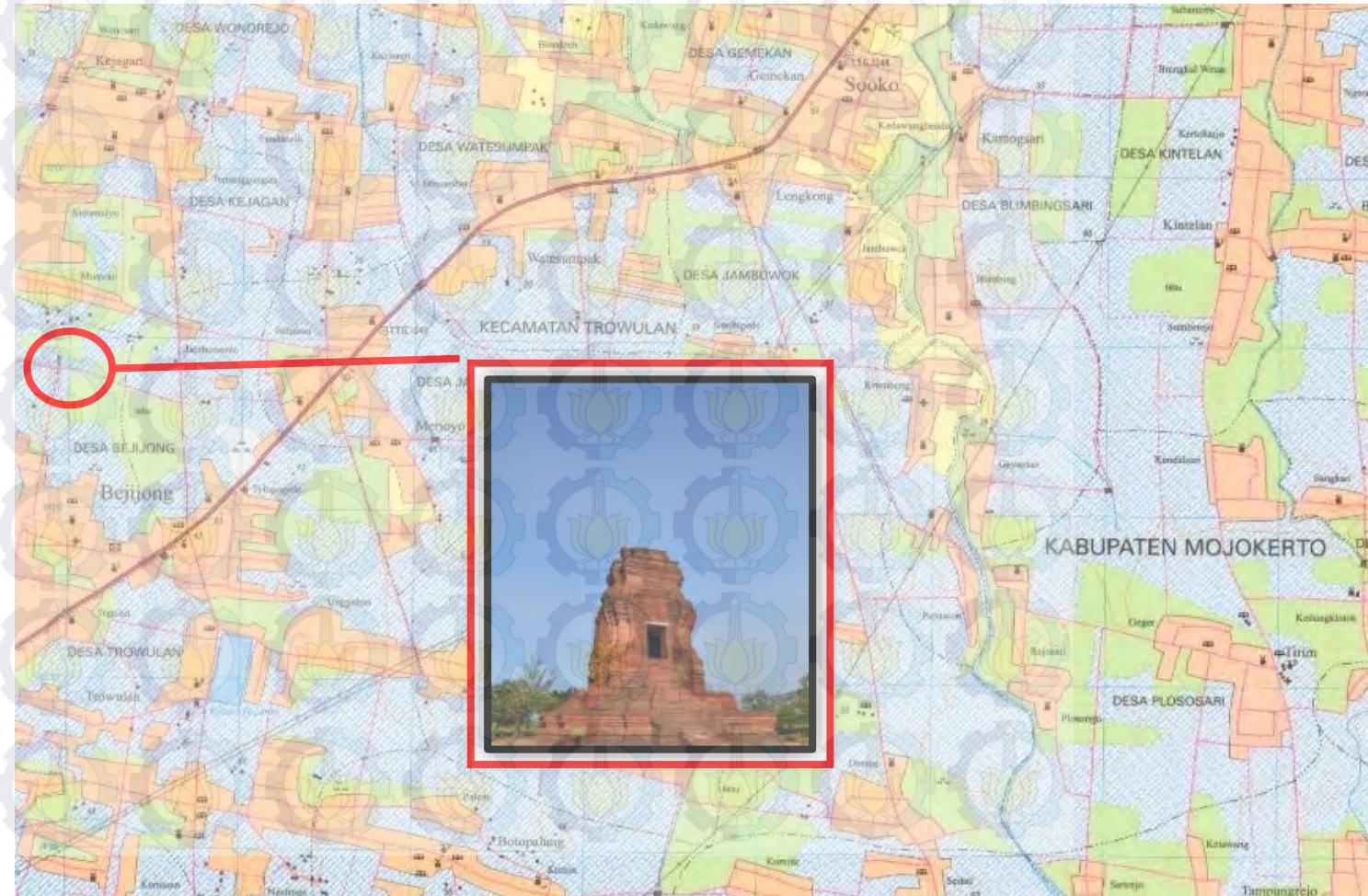
Kecamatan : Trowulan

Kabupaten : Mojokerto

Koordinat :

07° 32' 34,9" LS

112° 22' 23,2 " BT



Metodologi Penelitian

■ Data dan Peralatan

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

- Data koordinat titik BM sebagai titik referensi pengukuran kerangka kontrol, GCP dan ICP.
- Foto-foto Checkerboard untuk membantu kalibrasi kamera.
- Foto-foto Candi Brahu dengan resolusi 24 megapiksel dari berbagai sudut pandang untuk pembuatan model 3D objek.

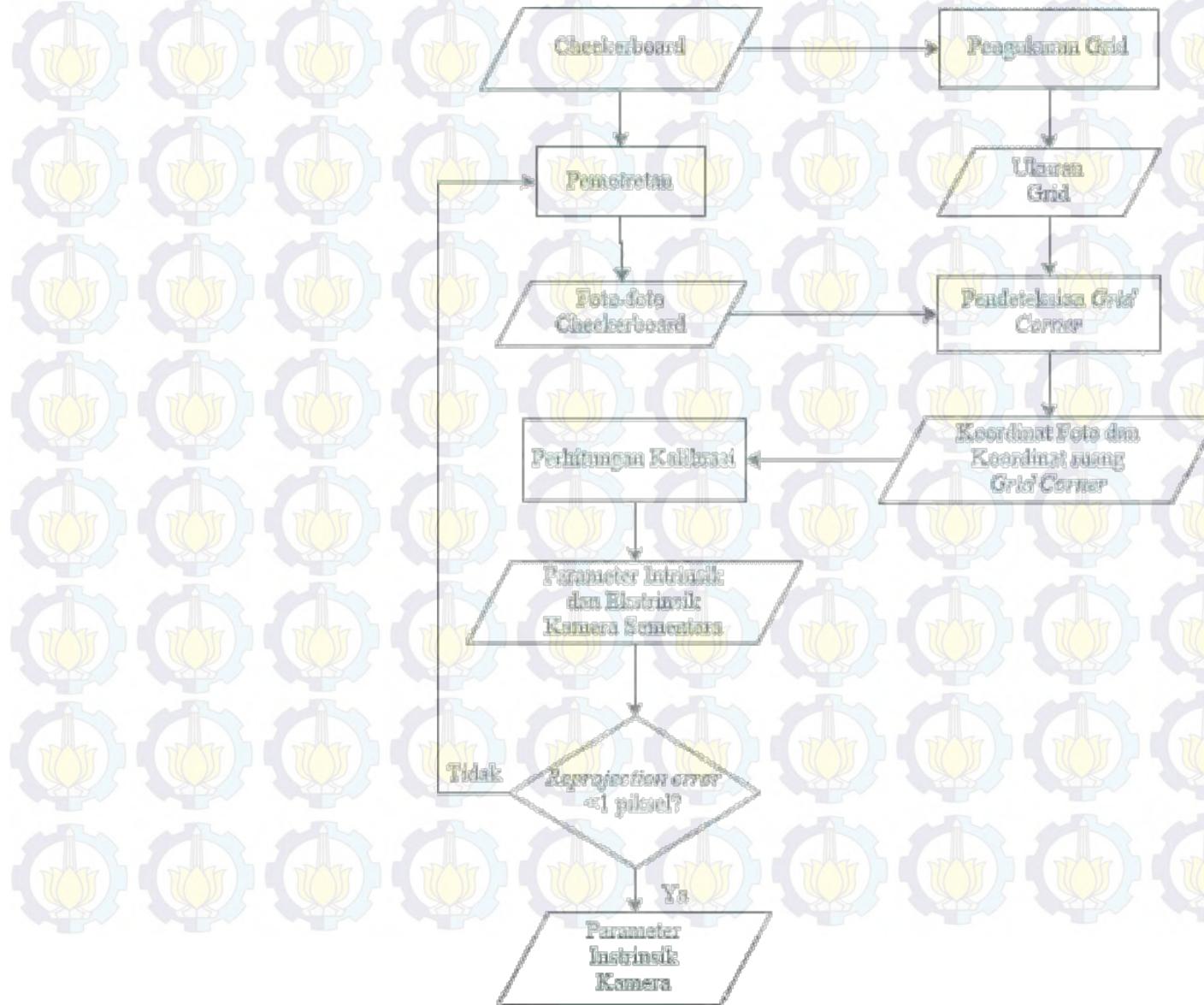
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya :

- Perangkat keras
 - Kamera *DSLM* Sony A6000
 - Kamera *DSLR* Nikon D3200
 - *Total Station*
 - Laptop
 - Mistar glass
 - Chrckerboard
- Perangkat lunak
 - Software pengolahan *image* untuk pemodelan 3D
 - *Camera Calibrator Apps* MATLAB untuk kalibrasi kamera
 - Software komparasi model 3D untuk membandingkan model 3D
 - Microsoft Office untuk pengolahan data dan pembuatan laporan



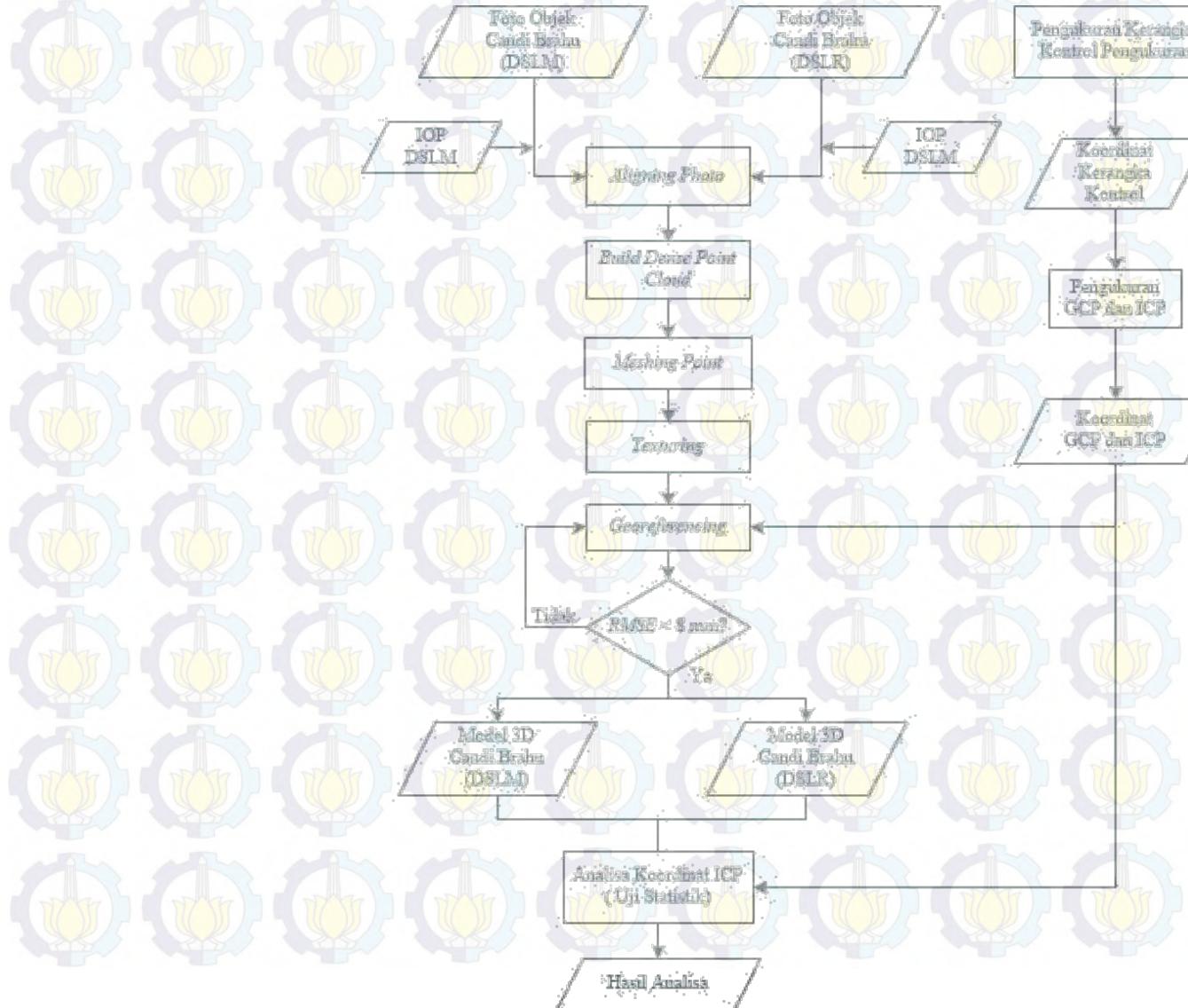
Metodologi Penelitian

■ Diagram Alir Kalibrasi Kamera



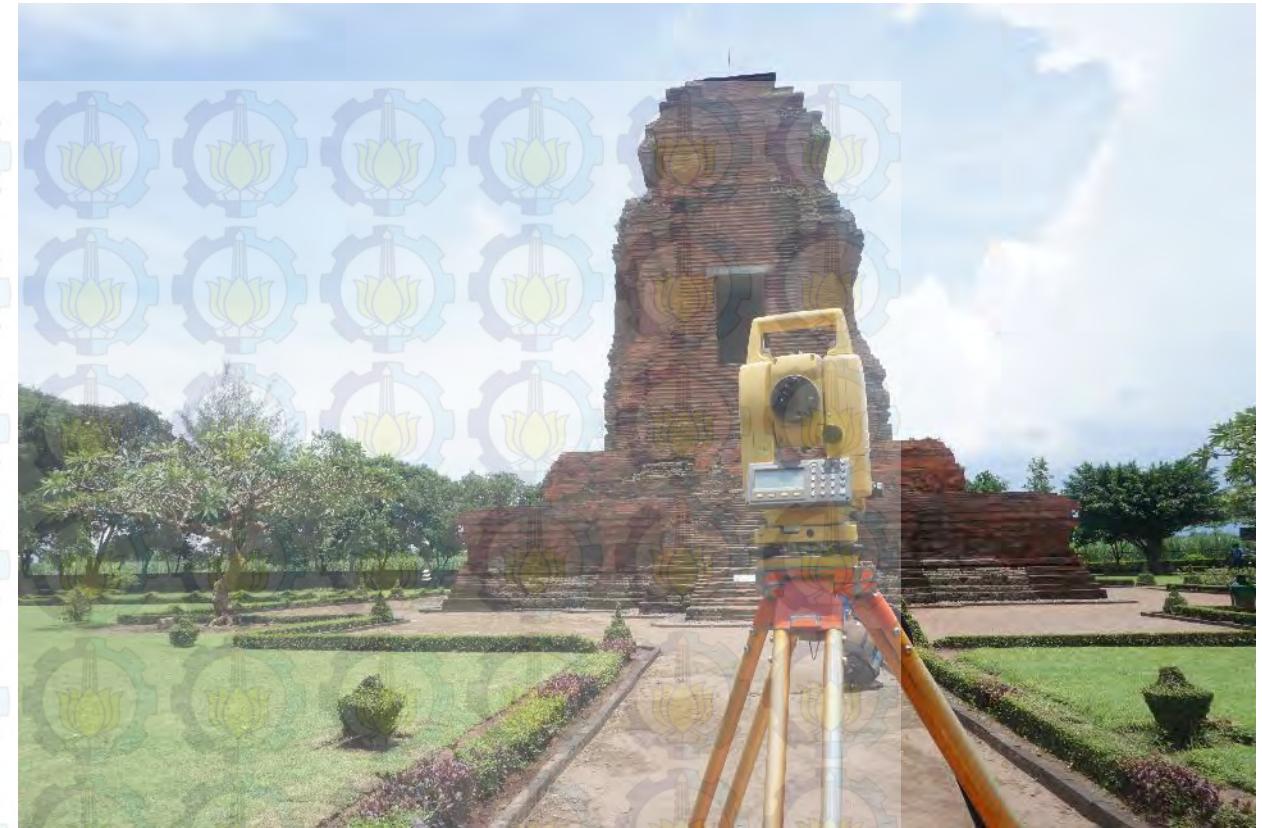
Metodologi Penelitian

■ Diagram Alir Pemodelan 3D



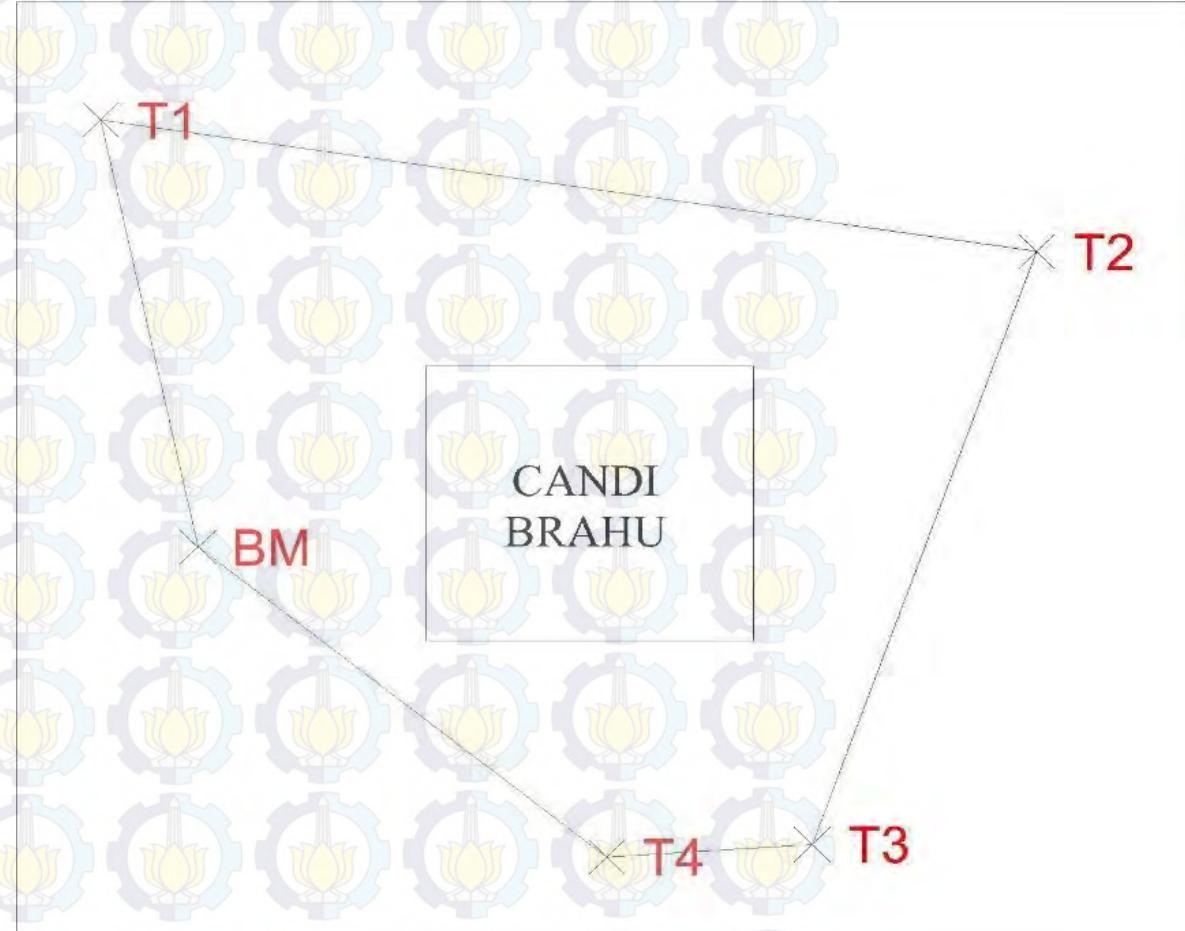
Pengambilan Data

- Hari / tanggal : Senin 29 Februari 2016
- Waktu : Pukul 10.30 - 15:30
- Tempat : Candi Brahu, Mojokerto
- Data yang diambil: Kerangka kontrol, GCP, ICP dan foto Objek



Kerangka Kontrol

TITIK	X (m)	Y (m)	Z (m)
BM	651646.800	9165981.780	32.000
T1	651638.998	9166016.976	31.994
T2	651713.529	9166006.168	31.691
T3	651695.657	9165957.245	32.024
T4	651679.285	9165956.210	32.098



Analisa Kerangka Kontrol

Kriteria	Nilai	Toleransi	Masuk Ketelitian
Kesalahan Linear	0.00037	0.0004	Ya
Kesalahan Penutup Sudut	8"	11.18"	Ya
Kesalahan Penutup Tinggi	2 mm	3.762 mm	Ya

$$\text{Kesalahan linear} = \frac{\sqrt{fx^2 + fy^2}}{\sum d(km)}$$

$$\text{Toleransi kesalahan linear} = \frac{1}{2500}$$

$$\text{Kesalahan penutup sudut} = \sum \beta'' - (n-2).180^\circ$$

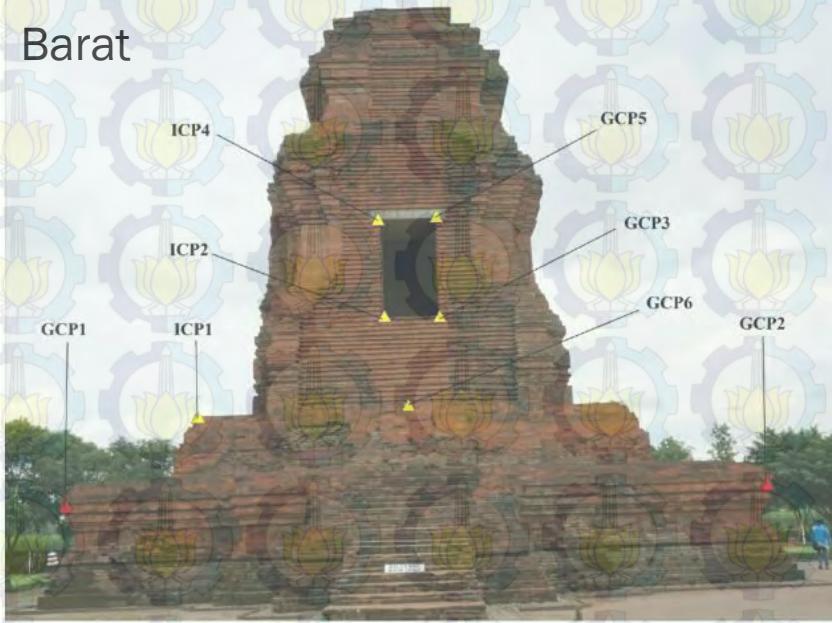
$$\text{Toleransi penutup sudut} = i\sqrt{n}$$

$$\text{Kesalahan penutup tinggi} = \text{Tinggi awal} - \text{Tinggi Akhir} = \sum \Delta h$$

$$\text{Toleransi penutup tinggi} = 8\sqrt{d}$$

Letak GCP dan ICP

Barat



Utara



Timur



Selatan

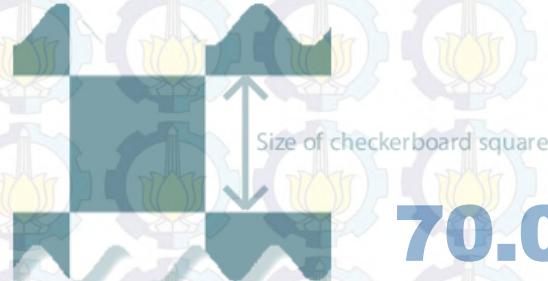


Koordinat GCP dan ICP

Titik	Easting (m)	Northing (m)	Height (m)
GCP1	651670.351	9165988.844	35.444
GCP2	651669.218	9165971.319	35.403
GCP3	651670.443	9165988.923	35.327
GCP4	651688.102	9165988.029	35.477
GCP5	651685.202	9165985.415	37.931
GCP6	651684.409	9165973.167	37.882
GCP7	651684.334	9165973.094	37.912
GCP8	651669.263	9165971.251	35.359

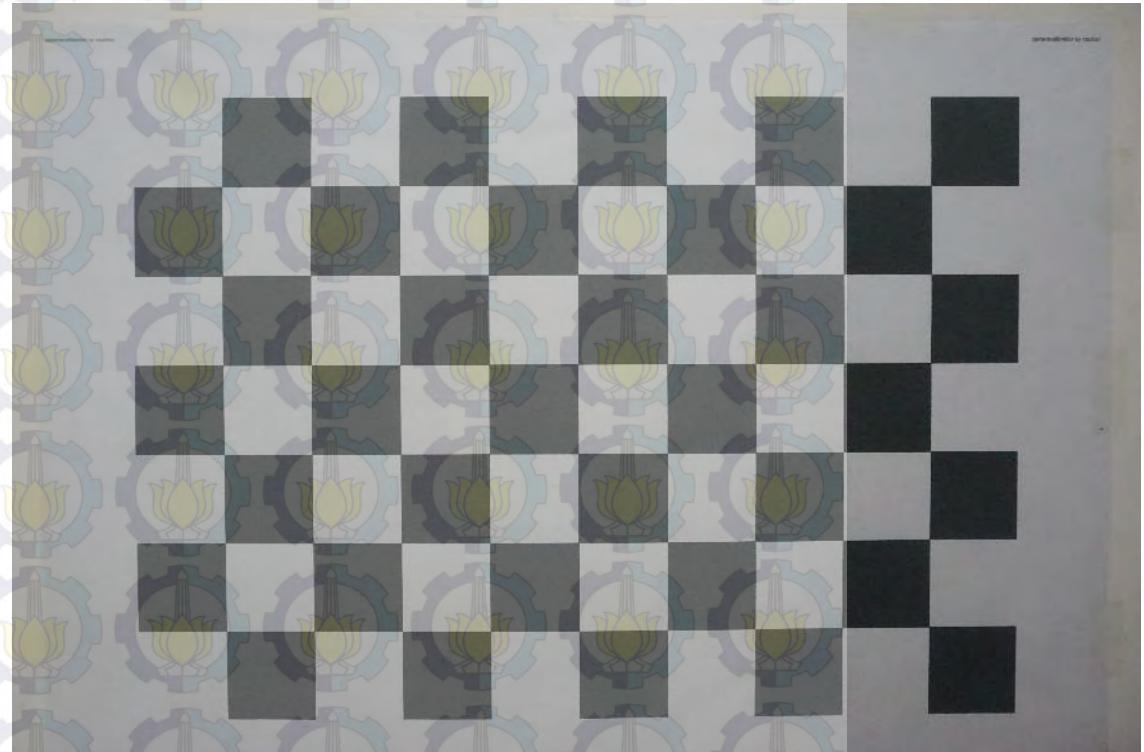
Titik	Easting (m)	Northing (m)	Height (m)
ICP1	651672.797	9165986.105	37.695
ICP2	651674.514	9165980.869	41.246
ICP3	651674.397	9165978.926	41.261
ICP4	651674.762	9165980.798	44.672
ICP5	651674.700	9165978.948	44.666
ICP6	651671.050	9165980.243	37.824
ICP7	651672.968	9165986.179	37.805
ICP8	651679.128	9165986.611	37.439
ICP9	651688.184	9165987.949	35.407
ICP10	651686.955	9165970.136	35.334

Kalibrasi Kamera



70.05 mm

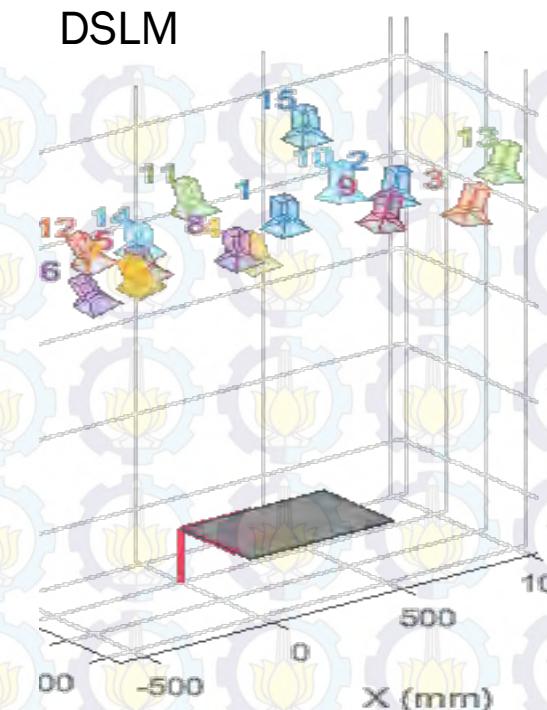
Menggunakan Camera Calibrator Matlab
Jumlah Foto yang diambil 15 foto
Focal length yang digunakan 18mm



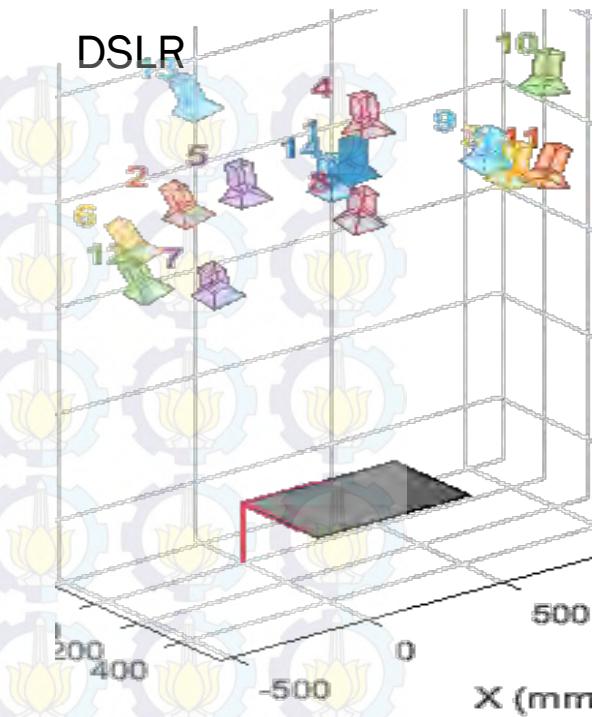
Kalibrasi Kamera

Parameter	Sony Alpha 6000	Nikon D3200
Fx (mm)	17.2903	18.4883
Fy (mm)	17.3009	18.3076
X0 (mm)	11.7334	11.7415
Y0 (mm)	7.6725	7.7204
K1	-0.0020	-0.1053
K2	-0.9544	-0.0046
K3	4.9453	0.2534
P1	-0.0014	0.0005
P2	0.0012	0.0003

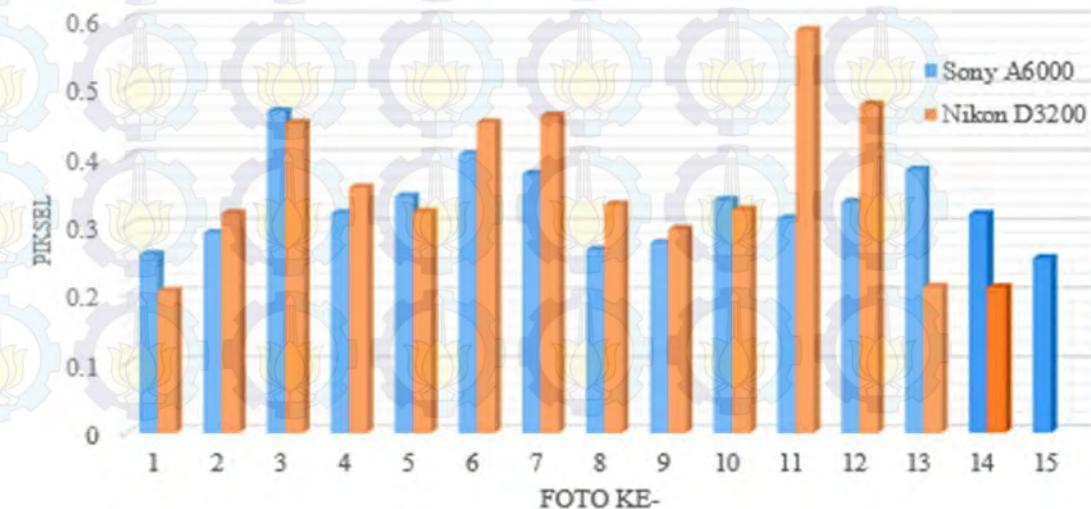
DSLM



DSLR



Reprojection Error Kalibrasi Kamera



Pemodelan 3D

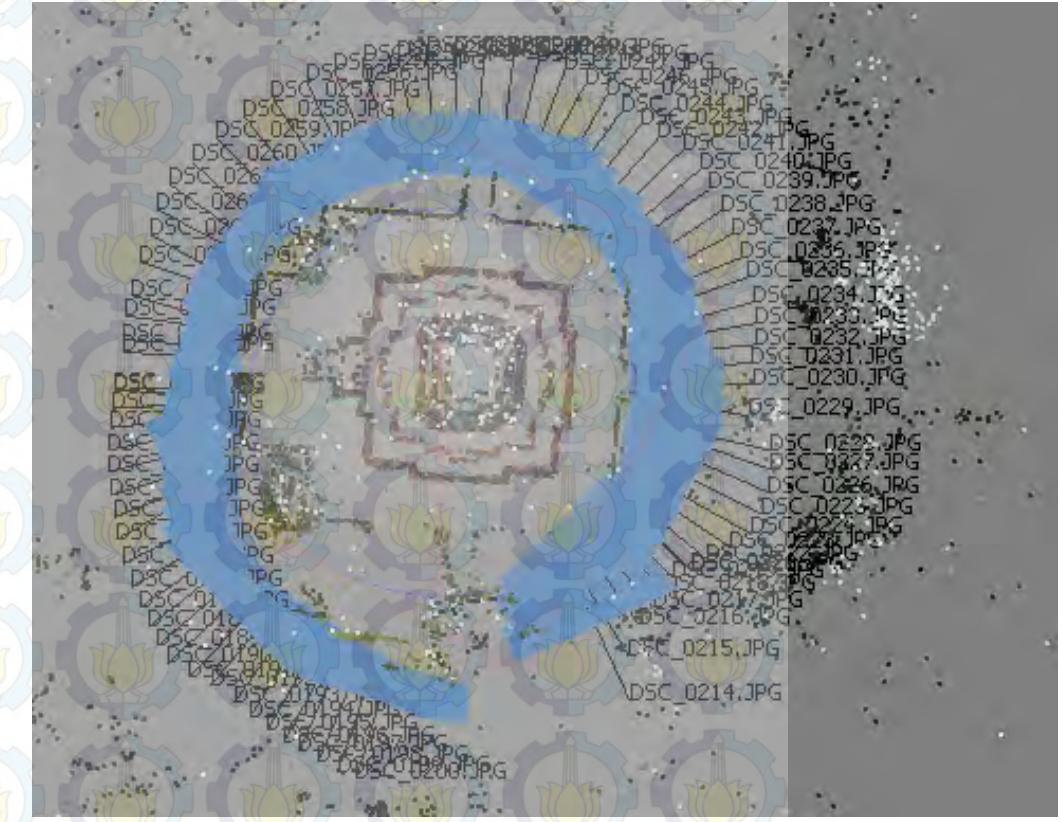
Orientasi

DSLM



80 photo

DSLR



80 photo

Pemodelan 3D

Build Dense Cloud

DSLM

4.841.820 point



DSLR

4.581.723 point



Pemodelan 3D

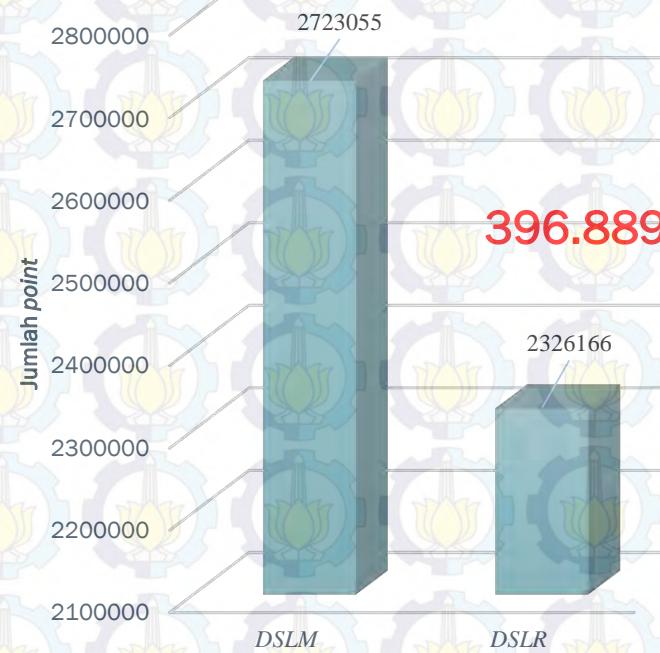
DSLM



Filtering Point Cloud

DSLR

Perbandingan jumlah point pada *dense point cloud model*

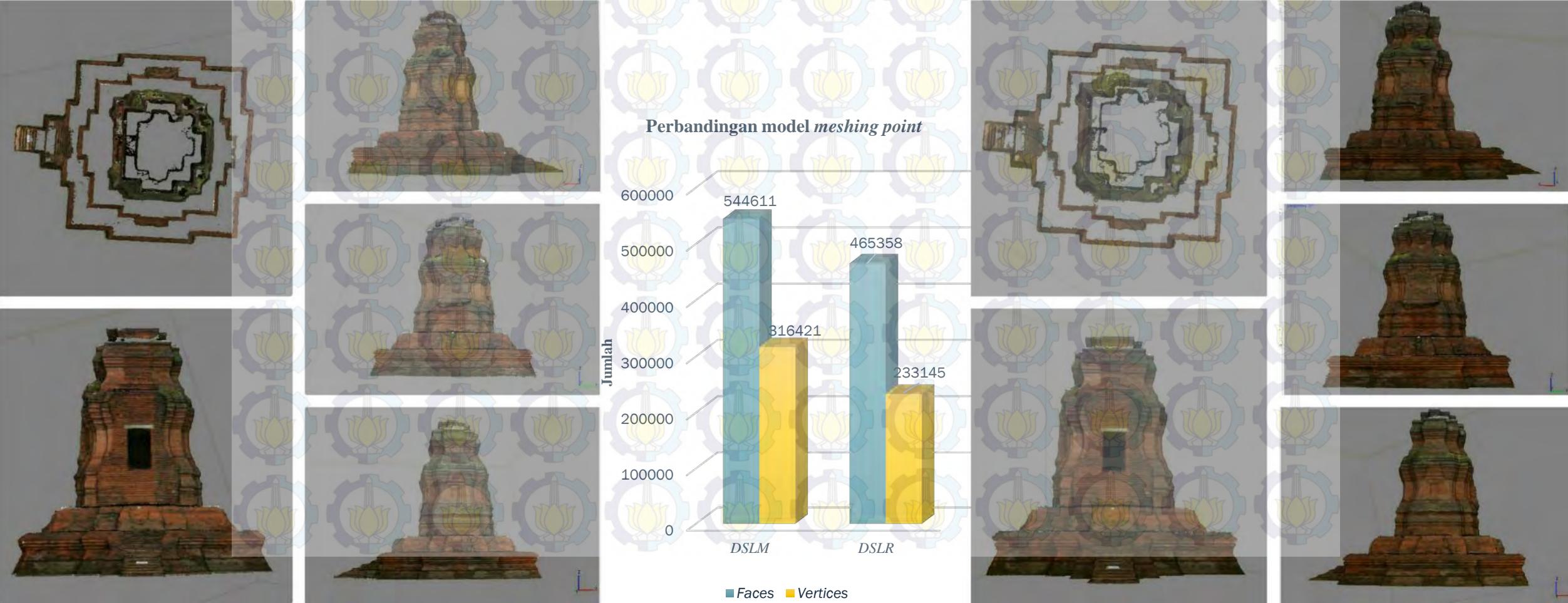


Pemodelan 3D

Mesing Point Model

DSLM

DSLR

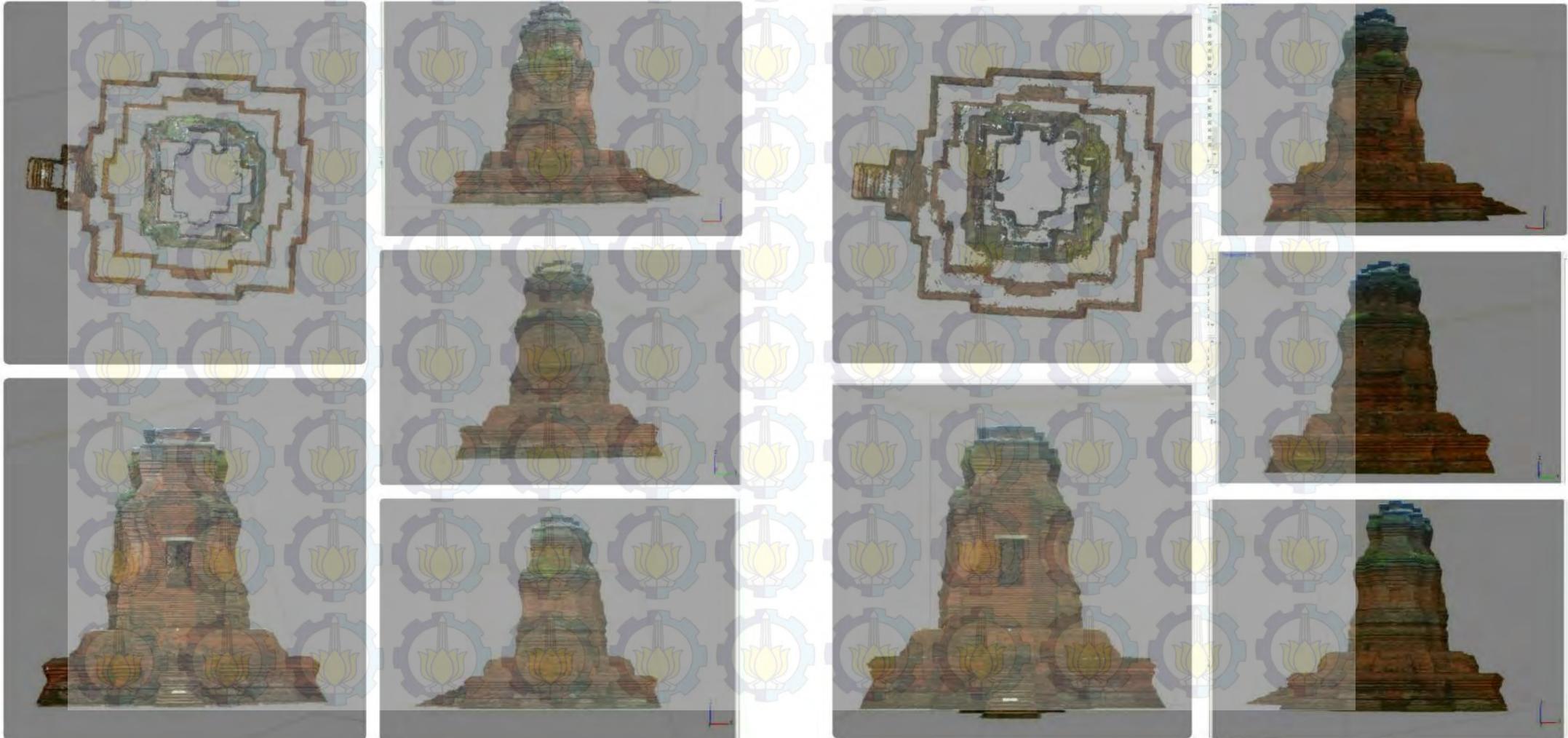


Pemodelan 3D

Texturing Model

DSLM

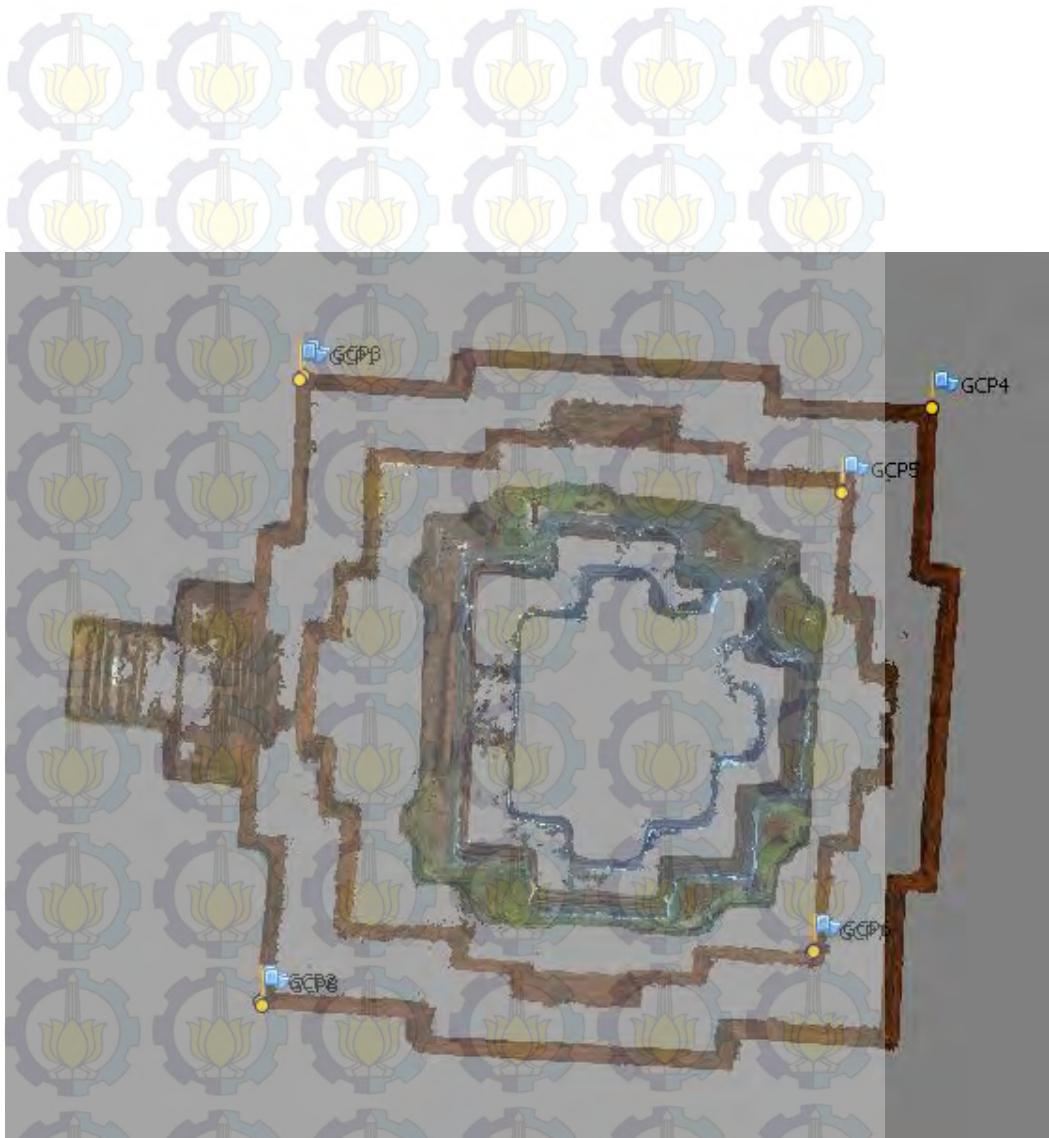
DSLR



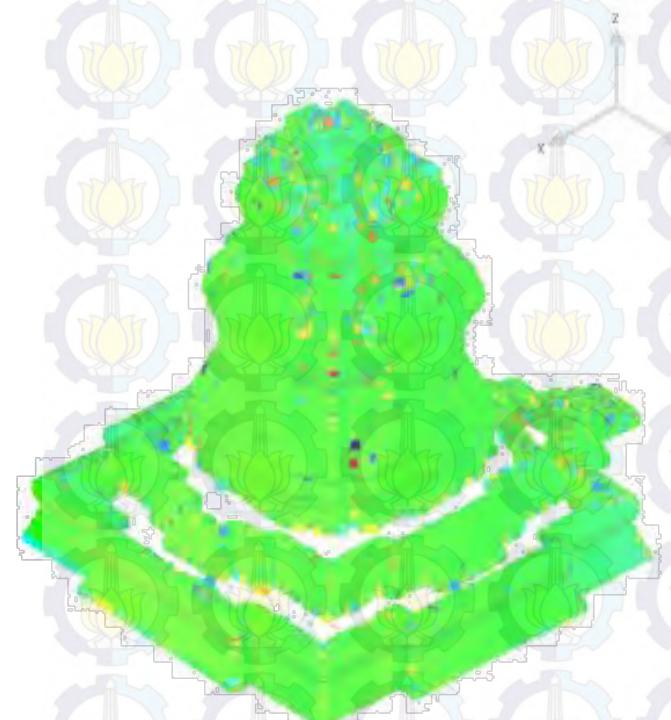
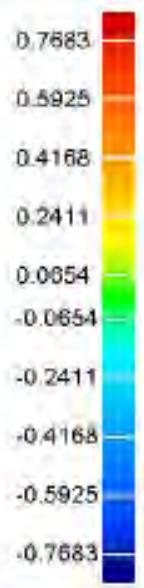
GEOREFERENCING

Data	RMSE (mm)
Sony A6000	4,003
Nikon D3200	3,647

Dari kedua data tersebut *RMS Error* kurang dari 8mm (ukuran 8mm didapat dari ukuran 1 piksel foto dalam skala 1:2000) sehingga memenuhi toleransi.

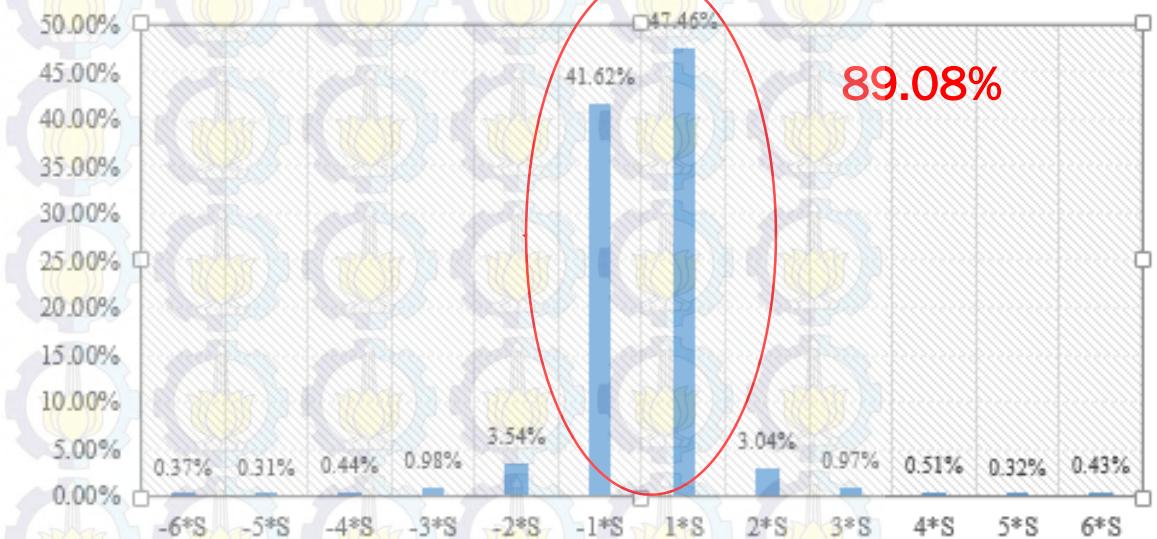


Komparasi Model 3D



Deviasi jarak dua model candi didominasi warna hijau dengan persentase 81,43%.

Distribusi deviasi jarak komparasi model 3D *DSLM* terhadap *DSLR*



Uji statistik

Tingkat Kepercayaan 95 % dan degree of freedom 2 Koordinat Northing

Titik	Interval Min.	Interval Maks.	Sony A6000	Nikon D3200
ICP1	651672.765	651672.830	651672.857	651672.893
ICP2	651674.481	651674.547	651674.497	651674.488
ICP3	651674.365	651674.430	651674.402	651674.377
ICP4	651674.729	651674.795	651674.742	651674.752
ICP5	651674.667	651674.732	651674.694	651674.681
ICP6	651671.017	651671.082	651671.024	651671.045
ICP7	651672.935	651673.000	651672.965	651672.946
ICP8	651679.095	651679.160	651679.127	651679.112
ICP9	651688.151	651688.217	651688.153	651688.147
ICP10	651686.922	651686.987	651687.011	651686.974

Uji statistik

Tingkat Kepercayaan 95 % dan degree of freedom 2 Koordinat Easting

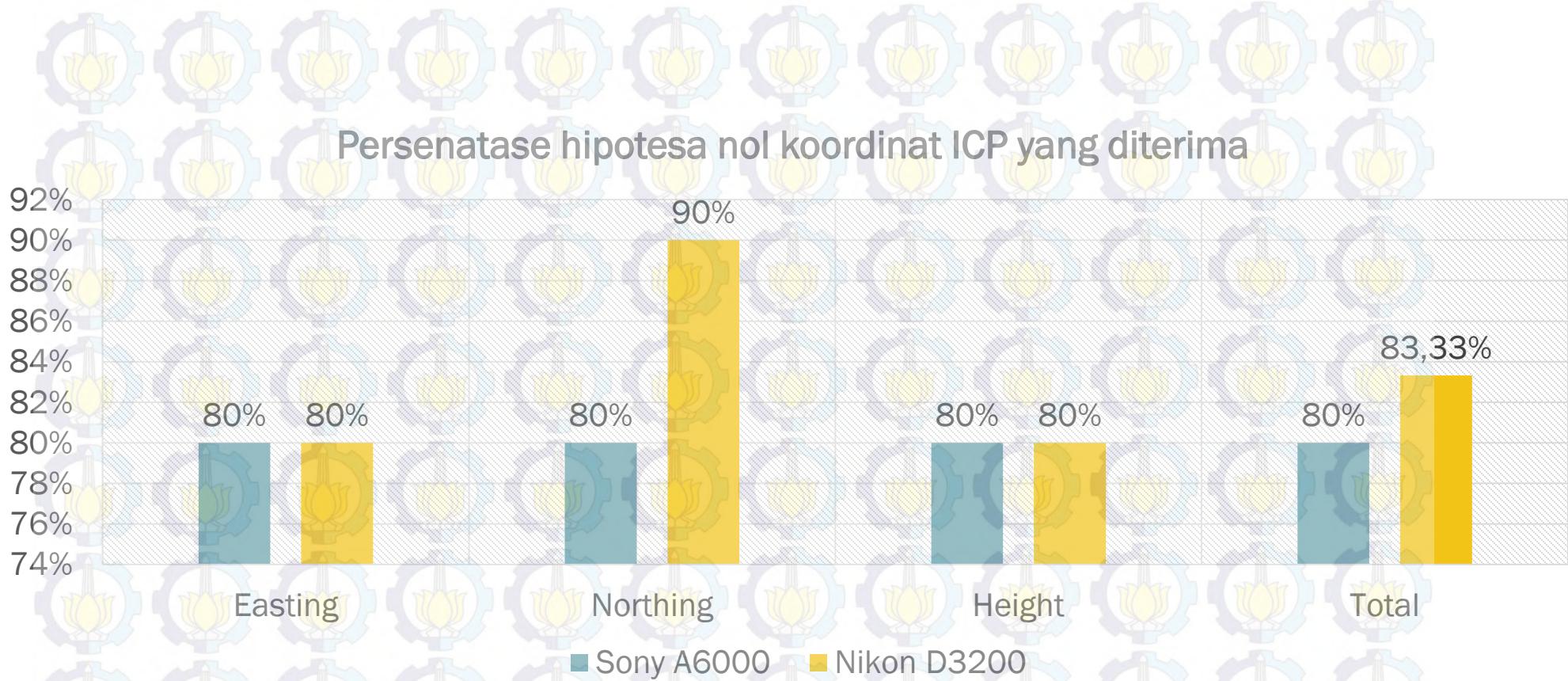
Titik	Interval Min.	Interval Maks.	Sony A6000	Nikon D3200
ICP1	9165986.089	9165986.122	9165986.119	9165986.100
ICP2	9165980.852	9165980.885	9165980.868	9165980.860
ICP3	9165978.909	9165978.943	9165978.933	9165978.940
ICP4	9165980.781	9165980.815	9165980.797	9165980.792
ICP5	9165978.931	9165978.965	9165978.953	9165978.946
ICP6	9165980.226	9165980.259	9165980.258	9165980.240
ICP7	9165986.163	9165986.196	9165986.140	9165986.180
ICP8	9165986.594	9165986.627	9165986.610	9165986.596
ICP9	9165987.932	9165987.966	9165987.952	9165987.901
ICP10	9165970.119	9165970.153	9165970.113	9165970.152

Uji statistik

Tingkat Kepercayaan 95 % dan degree of freedom 2 Height

Titik	Interval Min.	Interval Maks.	Sony A6000	Nikon D3200
ICP1	37.508	37.882	37.930	37.941
ICP2	41.059	41.433	41.173	41.180
ICP3	41.074	41.448	41.202	41.205
ICP4	44.484	44.859	44.586	44.611
ICP5	44.479	44.853	44.593	44.614
ICP6	37.636	38.011	37.847	37.840
ICP7	37.617	37.992	37.951	37.948
ICP8	37.252	37.627	37.942	37.951
ICP9	35.220	35.594	35.436	35.437
ICP10	35.147	35.522	35.333	35.364

UJI STATISTIK



Pada kedua model hipotesa nol diterima dengan persentase di atas 80%. Oleh karena itu perbedaan koordinat ICP kedua model dan Total Station tidak signifikan. Sehingga kedua model 3D Candi Brahu dapat digunakan sebagai acuan untuk kegiatan perencanaan kedepannya apabila diperlukan.

Kesimpulan

- Parameter orientasi dalam pada kamera *DSLM* dan *DSLR* didapat melalui kalibrasi kamera. Distorsi radial pada kamera *DSLR* lebih besar daripada kamera *DSLM*.
- Rekonstruksi model 3D dari foto kamera *DSLR* dan *DSLM* dapat dilakukan. Feature yang terbentuk dari data foto kamera *DSLM* lebih bagus daripada *DSLR*. Jumlah *point* pada model *dense point cloud* *DSLM* 396.889 *point* lebih banyak daripada *DSLR*.. Pada *surface model*, untuk data *DSLM* lebih bagus daripada *DSLR*, yaitu jumlah *faces* dan *vertices* *DSLM* lebih banyak daripada data *DSLR*.
- Berdasarkan hasil analisa uji statistik *t-test* pada koordinat ICP model 3D hasil rekonstruksi menunjukan bahwa persentase jumlah koordinat dimana hipotesa nol diterima sebesar 80% model 3D kamera *DSLM* dan 83,33% untuk model 3D kamera *DSLR*, itu artinya kedua model tidak memiliki perbedaan yang signifikan terhadap koordinat hasil pengukuran terestris dengan *Total Station*. Model dari kamera *DSLM* tidak signifikan perbedaanya, sehingga tidak adanya cermin pantul dan pentaprisma pada kamera *DSLM* tidak memberikan pengaruh terhadap ketelitian geometri yang dihasilkan seperti halnya pada kamera *DSLR*.

Saran

- Pada saat pemotretan kalibrasi kamera maupun objek yang akan dimodelkan disarankan untuk memakai tripod serta remote control untuk mengurangi guncangan sehingga foto yang dihasilkan tidak blur.
- Pengambilan foto objek yang akan dimodelkan diambil dari ketinggian tertentu sehingga model 3D yang dihasilkan tidak ada yang kosong.
- Untuk menguji lebih jauh perbandingan dari kamera DSLM dan DSLR disarankan untuk memakai kamera dengan sensor full frame.

Referensi

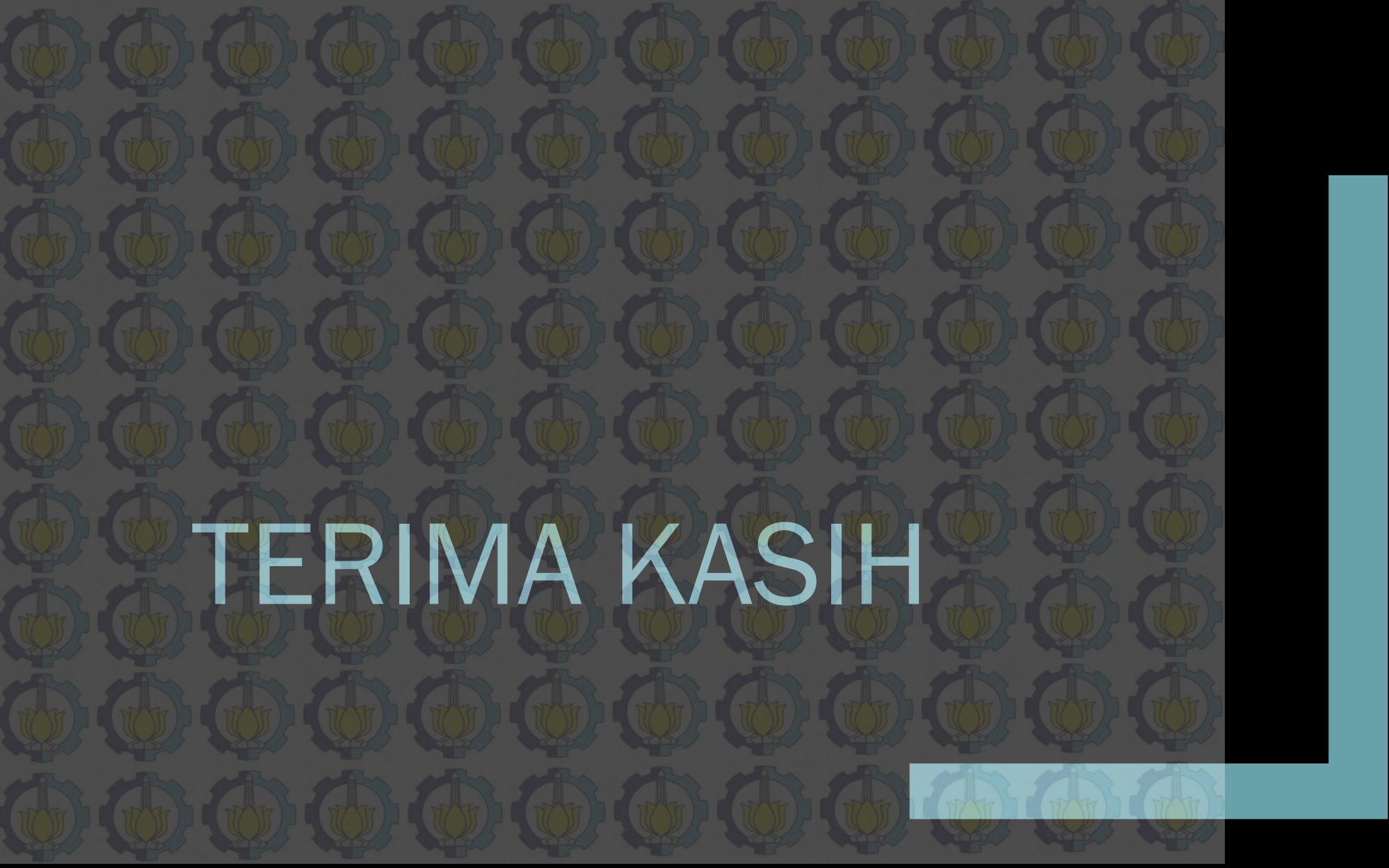
- Abidin, H. Z., 2002. *Survey Dengan GPS*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Anjasmara, I. M., 2005. *Sistem Tinggi*. Surabaya: Pendidikan dan Pelatihan (DIKLAT) Teknis Pengukuran dan Pemetaan Kota.
- Anonim, 2013. [Online] Available at: http://kebudayaan.kemdikbud.go.id/wp-content/uploads/2013/10/3_Regnas_MODUL_II.pdf.[Diakses 20 Januari 2016].
- Anonim, 2013. *DSLR-Principal Scheme of Work*. [Online]
Available at: <http://myphotographylesson.com/dslr-%E2%80%93-principle-scheme-of-work/>.[Diakses 21 Januari 2016].
- Anonim, 2013. *Kemendikbud*. [Online]
Available at: http://kebudayaan.kemdikbud.go.id/wp-content/uploads/2013/10/3_Regnas_MODUL_II.pdf
[Diakses 12 12 2015].
- Anonim, 2014. *Kamera Mirrorless*. [Online]
Available at: <http://belfort.com/kamera-mirrorless/>.[Diakses 21 Januari 2016].
- Aristia, N., 2014. *Pemodelan 3D Kawasan Cagar Budaya Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi Data Terestris dan Foto Udara (Studi Kasus Kawasan Camidi Sambisari-Yogyakarta)*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Atkinson, 1980. *Development in Close Range Photogrametri-1*. London: Applied Science Publisher.
- Atkinson, 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Atkinson, K. B., 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing.
- Aulejtner, M., 2011. *Investigation on Methode for Making Detailed Digital Models of Sculptures and other artefacts*, Krakow, Poland: AGH University of Science and Technology.
- Blank, L., 1982. *Statistical Procedures for Engineering Management and Science*. Tokyo: Mc Graw-Hill Inc..
- Cowley, D. C., 2011. Remote Sensing for Archeological Herritage Management. *EAC Occasional Paper*, Volume 5, p. 307.
- Dipokusumo, 1999. *Pengantar Fotogrametri*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Fraser, 1997. *Digital camera self-calibration*. s.l., ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, pp. 149-159.
- Handayani, H. H., Yuwono & Taufik, M., 2015. Preliminary study of bridge deformation monitoring using GPS and CRP (case study: Suramadu Bridge). *Procedia Environmental Scinces*, Volume 26, pp. 266-276.

Referensi

- Hanifa, N. R., 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto-Focus untuk Pemantauan Deformasi*, Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Hugemann, W., 2010. *Correcting Lens Distortions in Digital Photographs*, Leverkusen: EVU.
- Ismail, Y., 2009. *Aplikasi Fotogrametri Rentang Dekat untuk Menentukan Volume Suatu Objek*, Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Jantra, I. N. H. G., 2014. *Pembuatan Model Tiga Dimensi Candi Gebang Menggunakan Metode Fotogrametri Jarak Dekat*, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi, UGM.
- Leitch, K. R., 2010. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. New Mexico: Lambert Academic Publishers.
- Mathworks, 2015. *Single Camera Calibration*. [Online]
Available at: <http://www.mathworks.com/help/vision/ug/single-camera-calibrator-app.html?refresh=true> [Diakses 21 Januari 2016].
- Nikon Corporation, 2012. *Nikon D3200*. [Online]
Available at: <http://imaging.nikon.com/lineup/dslr/d3200/> [Diakses 21 Januari 2016].
- Novianty, D., 2015. *SINDONEWS.COM*. [Online]
Available at: <http://autotekno.sindonews.com/read/1043225/127/ini-perbedaan-kamera-dslr-dan-mirrorless-1441931528> [Diakses 21 Januari 2016].
- Panasonic Corporation, 2008. *What is Micro Four Thirds?*. [Online] Available at: <http://www.panasonic.co.nz/help-and-support/your-guide-to-digital-cameras/what-is-micro-four-thirds/>. [Diakses 21 Januari 2016].
- Putera, B. A. S., 2013. *Kalibrasi Kamera Non-Metrik Digital dengan Metode Self Calibration*, Surabaya: Teknik Geomatika, ITS.
- Putra, A., 2007. *Pengolahan Citra*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Rachmawati, 2012. REKONSTRUKSI OBYEK TIGA DIMENSI DARI CITRA DUA DIMENSI MENGGUNAKAN EPIPOLAR GEOMETRY. *Jurnal Teknologi*, Volume 5 nomor 2, pp. 98-103.
- Republik Indonesia, 2010. *UU Nomor 11 Tahun 2010 Tentang Cagar Budaya*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Rohmani, K. S., Anom, I. G. N., Mundardjito & Ismijono, 1995. *Upaya Pelestarian Situs Kota Kerajaan Majapahit di Trowulan, Mojokerto, Jawa Timur 1983-1995*, Mojokerto: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Kebudayaan, Bagian Proyek Pembinaan Peninggalan Sejarah dan Kepurbakalaan Bekas Kota Kerajaan Majapahit.

Referensi

- Soemanagara, D. F., 2014. *Candi Brahu*. [Online] Available at: <http://kebudayaanindonesia.net/kebudayaan/1887/candi-brahu>. [Diakses 12 Desember 2015].
- Sony Corporation, 2014. *Sony Alpha 6000 E-mount Camera with APS-C Sensor*. [Online] Available at: <http://www.sony.com/electronics/interchangeable-lens-cameras/ilce-6000-body-kit>. [Diakses 21 Januari 2016].
- Syndicate, R., 2011. *Fotografi Digital dengan DSLR*. Jakarta: Jal Publishing.
- Topcon Positioning System, 2016. *TOPCON*. [Online] Available at: <https://www.topconpositioning.com/> [Diakses 21 Januari 2016].
- Wahab, A. G., 2009. *Analisis Geometri Data Objek Tiga Dimensi Menggunakan Fotogrametri Rentang Dekat, Terrestrial Laser Scanning, dan Electronic Total Station (ETS)*, Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Wahab, A. G., 2009. *Analisis Geometri Data Objek Tiga Dimensi Menggunakan Fotogrametri Rentang Dekat, Terrestrial Laser Scanner, dan Electronic Total Station (ETS)*, Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, ITB.
- Wigrata, H., 1986. *Kalibrasi Besaran - besaran Panjang Fokus dan Distorsi Lensa pada Kamera Non - Metrik*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wolf, P. R., 1983. *Element of Photogrammetry Terjemahan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wolf, P. R., 2000. *Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS*. s.l.:McGraw-Hill.
- Yastikli, N., emem, O. & Alkis, Z., 2003. *3D Model Generation and Visualization of Cultural Heritage*, Istanbul: Yildiz Technical University, Civil Engineering Faculty, Division of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Yilmaz, H. M., Yakar, M. & Yildiz, F., 2008. Digital Photogrammetry in Obtaining of 3D Model Data of Irregular Small Objects. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVII Part B3b, pp. 125-130.
- Zhang, Z., 2000. *A Flexible New Technique for Camera Calibration*. s.l., IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 1330-1334.



TERIMA KASIH