

ANALISIS PENGARUH INTENSITAS CAHAYA TERHADAP PEMODELAN OBJEK 3D MENGGUNAKAN KAMERA *DIGITAL SINGLE LENS REFLEX (DSLR)*

Andika, A.A. ; Tjahjadi, M.E. ; Yulianandha, A.
Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Bendungan Sigura-gura Kampus 1, No.2 Malang Telp. 0341-551431
Email : alfin.jazz@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan fotogrametri sekarang ini banyak menggunakan kamera non-metrik. Hal tersebut dikarenakan kamera non-metrik terdiri dari banyak tipe sehingga sangat terjangkau dari segi harga dan kamera tersebut serta sangat fleksibel digunakan kapan pun dan dimana pun. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya pada hasil pemodelan objek tiga dimensi menggunakan kamera DSLR.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemotretan objek menggunakan kamera DSLR dengan diberi pengaruh intensitas cahaya yang berbeda. Dari hasil model tiga dimensi yang berbeda pada tiap intensitas cahaya dilakukan analisis geometrik dan radiometrik. Analisis geometrik ini yaitu kualitas dari nilai RMSE model dan kualitas dari sampel koordinat titik objek yang diteliti. Analisis radiometrik disini yaitu dengan melakukan analisis nilai warna RGB titik pada objek yang akan diteliti.

Melalui serangkaian proses pengolahan dan analisis dari hasil pemodelan hasil analisis geometrik diperoleh semua hasil pemodelan memiliki RMSE kurang dari 1mm dengan nilai RMSE terkecil yaitu 0446mm.

Kata Kunci: Model 3D, Fotogrametri Jarak Dekat, Intensitas Cahaya, Kamera DSLR

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Fotogrametri Jarak Dekat merupakan suatu cabang penting ilmu fotogrametri dengan kamera berada di permukaan bumi yang mempunyai jarak antara kamera dengan objek sampai dengan 300 meter. Kamera Foto ini mudah dicapai sehingga dapat dilakukan pengukuran langsung untuk memperoleh posisi pemotretan. Penggunaan metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrametry (CRP)* atau Fotogrametri Rentang Dekat (wolf, 1974)

Berdasarkan hasil pemaparan tersebut, fotogrametri rentang dekat (CRP) dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mendokumentasikan suatu objek dalam bentuk menyerupai sebenarnya. Dalam penelitian ini menggunakan gelas keramik dan kotak sebagai objek tiga dimensi. Model tiga dimensi yang dihasilkan sendiri memiliki kemiripan yang sesuai dengan obyek aplikatifnya. Mulai dari bentuk hingga tekstur yang dibuat menyerupai obyek asli. Sehingga, model tiga dimensi tersebut dapat digunakan untuk kegiatan pendokumentasian maupun kegiatan lainnya.

Kegiatan fotogrametri sekarang ini banyak menggunakan kamera non-metrik. Hal tersebut dikarenakan kamera non-metrik terdiri dari banyak tipe sehingga sangat terjangkau dari segi harga dan kamera tersebut serta sangat fleksibel digunakan kapan pun dan dimana pun. Kamera non-metrik bisa digunakan untuk fotogrametri jika kamera tersebut telah dilakukan kalibrasi.

Kualitas hasil foto kamera dalam pelaksanaannya akan terpengaruh berbagai hal, salah satunya pengaruh intensitas cahaya. Pada intensitas cahaya rendah akan menghasilkan hasil

yang berbeda dengan intensitas cahaya sedang maupun tinggi. Pada prosesnya intensitas cahaya akan berpengaruh dalam hasil pembuatan Model tiga dimensi itu secara geometrik dan radiometrik objek terekam. Untuk itu dalam penelitian ini digunakan skala intensitas yang berbeda untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya dalam objek tiga dimensi menggunakan kamera DSLR.

I.2. Rumusan Masalah

perumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah tingkat intensitas cahaya terhadap suatu objek berpengaruh terhadap hasil pemodelan tiga dimensi?
2. Bagaimana kualitas geometrik dan radiometrik model tiga dimensi pada masing-masing tingkat intensitas cahaya?

I.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Melakukan pemodelan tiga dimensi menggunakan kamera *DSLR*
2. Mengetahui Pengaruh intensitas cahaya pada perekaman objek menggunakan kamera *DSLR*
3. Mengetahui kualitas geometrik dan radiometrik model tiga dimensi pada masing-masing tingkat intensitas cahaya.

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Membentuk model tiga dimensi dengan geometri yang dihasilkan menggunakan kamera *DSLR* pada berbagai tingkat intensitas cahaya
2. Dapat mengetahui waktu pengambilan atau pada intensitas cahaya berapa suatu objek pemotretan memiliki kesalahan geometrik dan radiometrik minimum

I.4. Batasan Masalah

1. Penelitian ini dilakukan di ruangan tertutup dengan intensitas cahaya sedang
2. Sumber cahaya buatan berupa lampu studio
3. Tingkat intensitas cahaya yang diamati berbeda dengan batasan 0 lux – 2000 lux
4. Intensitas cahaya 750 lux digunakan sebagai acuan nilai intensitas cahaya untuk pengecekan warna (analisis radiometrik) dalam ruangan (SNI 03-6575-2001)
5. Batasan tingkat intensitas cahaya dibagi dalam 5 interval skala.
6. Penelitian ini menggunakan kamera DSLR dengan rentang jarak pemotretan ke objek maksimal 5 meter
7. Untuk masing-masing pemotretan pada tingkat intensitas yang berbeda menggunakan settingan kamera yang sama
8. Objek berupa sebuah Gelas keramik dengan tinggi ± 20 cm dan sebuah kotak berukuran 15x8cm
9. Objek yang diamati dalam kondisi diam tanpa ada perubahan kedudukan
10. Parameter utama yang diteliti adalah pengaruh terhadap geometrik dan radiometrik objek

II. DASAR TEORI

II.1. Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri jarak dekat mengkombinasikan akuisisi data geometri dan tekstur suatu benda sehingga ketelitian dalam rekonstruksi suatu bangunan sangat baik. Adapun ketelitian dalam fotogrametri jarak dekat menurut Harintaka (2012) dipengaruhi oleh:

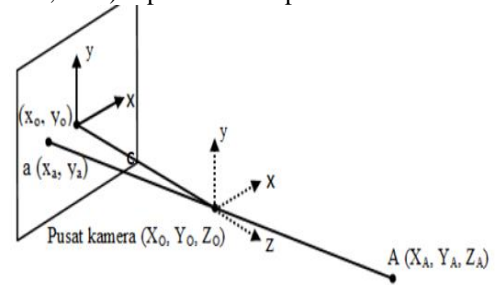
1. *Base/height ratio*;
2. Jumlah foto;
3. Jumlah titik kontrol;
4. Jumlah titik diukur di foto (*tie point*);
5. GSD pixel;
6. IOP (*internal orientation parameter*) dan EOP (*external orientation parameter*).

Teknik foto jarak dekat adalah teknik foto menggunakan kamera non-metrik, yang dapat diandalkan tingkat akurasi dan visualisasinya. Keandalan ini berdasarkan beberapa faktor, yaitu tingginya resolusi gambar yang diperoleh dari kamera SLR (*Single Lens Reflex*), rendahnya nilai distorsi radiometrik dan geometrik dari kamera dan desain jaringan kamera yang baik (Alsadikdkk, 2015). Dari keandalan yang telah disebutkan, teknik fotogrametri jarak dekat tidak lepas dari kekurangan yang dimiliki, antara lain hasil ukuran yang tidak dapat diperoleh secara langsung serta kesalahan yang terjadi pada saat pengambilan dan pemrosesan foto dapat menyulitkan pekerjaan.

II.2. Prinsip Fotogrametri Jarak Dekat

Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang sensor. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata,

titik pusat 8 proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri (Atkinson, 1996) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 2.1 Kondisi Kolinear (Sumber:

Berdasarkan Atkinson, 1996 dalam Wahab, 2009)

Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif. Titik pusat lensa kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya. Perhatikan Gambar 2.1. X_0, Y_0, Z_0 merupakan titik pusat kamera, x_a, y_a, z_a merupakan koordinat sebuah titik A pada sistem koordinat berkas, dan X_A, Y_A, Z_A merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolinearitas adalah :

$$x_a - x_0 = -c \frac{r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(Z_A - Z_L) + r_{13}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)}$$

$$y_a - y_0 = -c \frac{r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(Z_A - Z_L) + r_{23}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)}$$

Dimana,

- X_a, Y_a : Koordinat titik A di foto
- Y_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 matrik rotasi

Elemen dari matrik rotasi diberikan pada persamaan :

$$R = R\omega R\phi Rk \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

Dimana,

- $r_{11} = \cos\phi \cos\kappa$
- $r_{12} = \sin\omega \sin\phi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa$
- $r_{13} = -\cos\omega \sin\phi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa$
- $r_{21} = -\cos\phi \sin\kappa$
- $r_{22} = -\sin\omega \sin\phi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa$
- $r_{23} = \cos\omega \sin\phi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa$
- $r_{31} = \sin\phi$
- $r_{32} = -\sin\omega \cos\phi$
- $r_{33} = \cos\omega \cos\phi$

II.3. Space Resection

Metode reseksi ruang dengan kesegarisan adalah metode numerik untuk menyelesaikan enam parameter orientasi luar (*exterior orientation*).

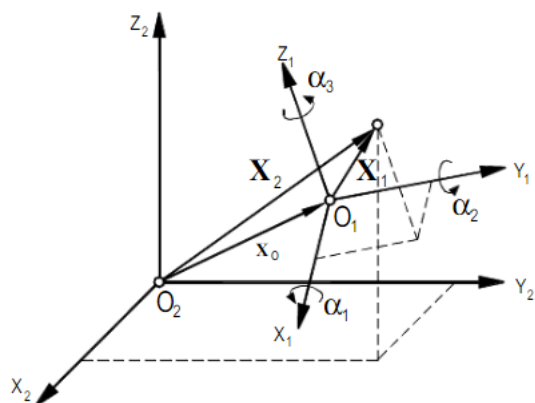
Parameter orientasi luar terdiri dari $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi,$ dan κ merupakan posisi dan orientasi kamera pada saat pemotretan. Posisi dan orientasi kamera diperlukan untuk menentukan posisi dari titik objek relatif dari sistem koordinat kamera.

II.4. Space Intersection

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). Prinsip penentuan posisi dari perpotongan sinar ini dikenal dengan interseksi spasial.

II.5. Transformasi Koordinat

Transformasi koordinat 3D adalah suatu proses pengikatan system koordinat model tiga dimensi menjadi koordinat tanah yang diikat dari titik kontrol referensi. Proses ini diselesaikan dengan metode hitung kuadrat terkecil. Terdapat tujuh parameter yang dicari yaitu: factor skala (s), tiga sudut rotasi omega (ω), phi (ϕ), kappa (κ), dan tiga factor translasi $\Delta X, \Delta Y,$ dan ΔZ . Hubungan antara system koordinat model dan system koordinat tanah dapat di modelkan dalam persamaan transformasi proyektif 3D yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.2. Transformasi tiga dimensi(Sumber : Andrei, 2006)

Persamaan 1 Transformasi proyektif 3D.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \lambda \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

Dalam hal ini,

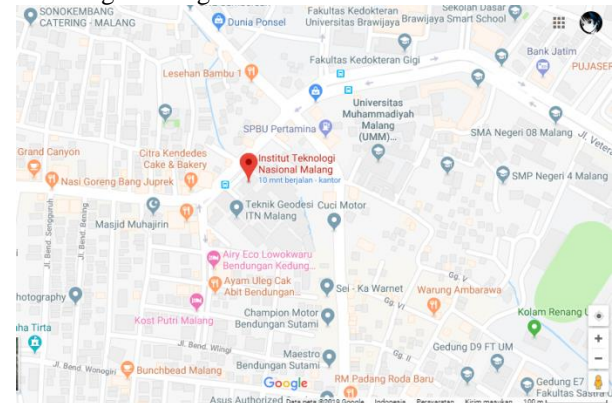
$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} : \text{Sistem koordinat baru}$$

- $\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$: Sistem koordinat lama
- $\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$: parameter translasi terhadap sumbu x, y, z
- Λ : parameter skala dalam transformasi
- R : Matrik rotasi

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Ruang Seminar, Lantai 2 Gedung Teknik Geodesi, Kampus 1 Institut Teknologi Malang.



Gambar 3.1. Lokasi Penelitian

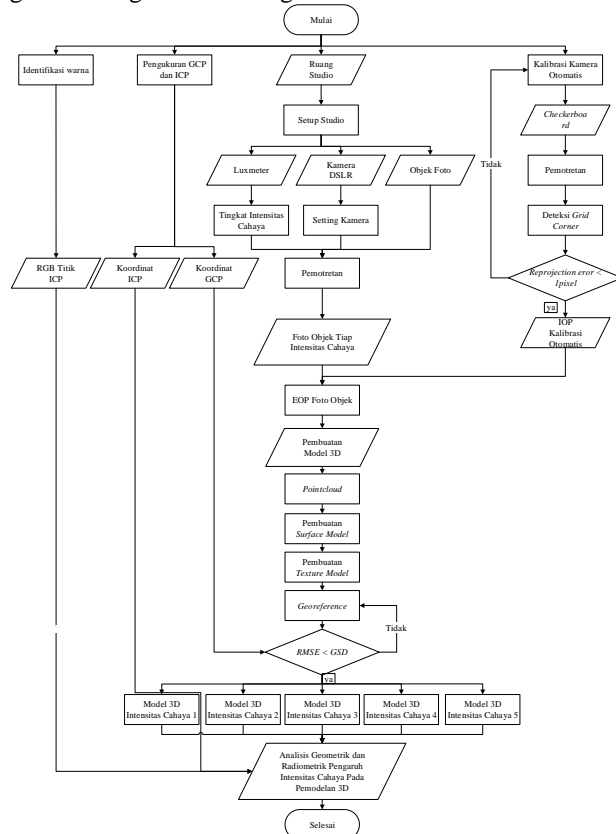
III.2. Alat dan Bahan

- a. Perangkat Keras
 1. Kamera digital non-metrik SLR Nikon D3200 24 megapiksel, CCD Sensor APS-C (23,2 x 15,4 mm), resolusi piksel 6016 x 4000, digunakan sebagai alat untuk pengambilan foto dan pembuatan model 3D objek
 2. Ruang studio buatan dengan dilengkapi background putih
 3. Lampu pencahayaan studio
 4. Tripot kamera
 5. Penggaris ukur
 6. Meteran
 7. Alat ukur intensitas cahaya *Luxmeter*
 8. Kabel USB
- b. Perangkat Lunak
 1. Perangkat lunak *Software Agisoft PhotoScan* untuk pengolahan image pemodelan 3D
 2. Camera Calibrator Apps Matlab untuk kalibrasi kamera
 3. *Software 3D Compare* untuk membandingkan model 3D
 4. Perangkat lunak *Software Microsoft Office*
- c. Bahan
 1. *Checkerboard* untuk membantu kalibrasi kamera
 2. *Grid Pattern* untuk alat bantu koordinat GCP foto

3. Objek foto berupa box persegi Panjang dan sebuah miniatur
4. Alat tulis

III.3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa tahapan yang diringkasi dan ditampilkan dalam gambar diagram alir sebagai berikut



Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

Penjelasan dari diagram alir di atas adalah sebagai berikut:

1. Pendahuluan

a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah mengidentifikasi masalah berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah dan tujuan dilakukannya penelitian ini.

b. Studi Literatur

Sebagai lanjutan dari identifikasi masalah, Studi Literatur merupakan tahapan dimana penulis mempelajari metode-metode yang terkait untuk menyelesaikan masalah berdasarkan literatur yang berasal dari buku, jurnal, seminar ilmiah, website dan lainnya.

c. Perencanaan

Sebelum melakukan kegiatan terlebih dahulu menentukan objek yang sesuai untuk penelitian serta alat dan bahan untuk penelitian, pada penelitian ini objek penelitiannya yaitu objek bangun sederhana 3 dimensi berupa box

berukuran 7 x 15 x 3cm dan sebuah patung berukuran tinggi 7 cm. Peralatan yang digunakan yaitu Kamera DSLR Nikon D2300, Laptop, Retro, checkerboard, lampu studio dan luxmeter.

2. Setting ruang studio

Penggunaan sebuah ruang pemotretan buatan bertujuan untuk mendapatkan hasil pemotretan yang baik terutama pada hasil penangkapan cahaya objek oleh kamera. Ruangan ini juga bertujuan untuk mempermudah dalam akuisisi data foto,memaksimalkan cahaya lampu sehingga intensitas cahaya yang tertangkap pada permukaan objek lebih merata.

3. Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera dilakukan pada kamera DSLR sebelum digunakan untuk pemotretan objek Candi Brahu. Checkerboard digunakan sebagai alat bantu dalam kalibrasi kamera. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan Camera Calibrator Photomodeler scanner

4. Pengukuran Kerangka Kontrol,

Titik GCP dan ICP dihitung dengan melakukan pengukuran langsung koordinat dilapangan.

5. Identifikasi Warna

Identifikasi warna menggunakan *software* identifikasi warna yang dapat dibuka dengan OS Android dengan melakukan pembelian pada google playstore.

6. Pengambilan Data Foto

Pengambilan data perekaman foto untuk pembuatan model tiga dimensi diperlukan penyesuaian tata letak yang baik. Hasil pemodelan tiga dimensi akan bergantung terhadap cakupan hasil foto. Untuk perekaman juga. Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pemotretan dengan kamera pada semua sisi objek yang akan difoto.

7. Pembuatan Model Tiga Dimensi

Pengolahan data foto menggunakan *software* pengolah foto *Agisoft Photoscan Pro*. Pada proses pembuatan model tiga dimensi, dipilih beberapa data foto yang memenuhi syarat-syarat dalam proses pengambilan data. Sehingga, pada tahap berikutnya, dapat dihasilkan data model tiga dimensi yang sesuai dan menyerupai obyek aslinya.

8. Analisis Geometrik Model

Analisis geometrik pada penelitian ini menggunakan data 10 titik ICP yang digunakan sebagai pembanding. Dari masing-masing hasil model tiga dimensi intensitas cahaya dihitung nilai koordinat (x, y, z) ICP menggunakan *software Cloud Compare*. Kemudian nilai koordinat tersebut disisihkan dan dirata-rata untuk memperoleh besar rata-rata kesalahan analisis geometrik objek

9. Analisis Radiometrik Model

Analisis geometrik pada penelitian ini menggunakan data 10 titik ICP yang digunakan sebagai pembanding. Dari masing-masing hasil model tiga dimensi intensitas cahaya dihitung nilai RGB (*red, green, blue*) ICP menggunakan software Identifikasi Warna. Kemudian nilai RGB tersebut diselisihkan dan dirata-rata untuk memperoleh besar rata-rata kesalahan analisis radiometrik objek

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Kalibrasi Kamera

Berikut hasil Parameter Orientasi Dalam Kalibrasi Kamera DSLR

Tabel 4.1. Parameter Orientasi Dalam kamera

No	Parameter	Keterangan	Nilai (mm)	Standar deviasi (mm)
1	f	Fokus	18.898289	0.001
2	Xp	Eidusial x	12.041350	0.002
3	Yp	Eidusial y	7.782455	0.002
4	K1	Radial distortion 1	2.793e-04	4.8e-06
5	K2	Radial distortion 2	-2.900e-07	1.5e-07
6	K3	Radial distortion 3	0	0
7	P1	decentering distortion 1	-1.043e-05	1.5e-06
8	P2	decentering distortion 2	1.213e-05	1.8e-06

IV.2. Hasil Pengukuran GCP dan ICP

Pengukuran GCP dan ICP dilakukan menggunakan penggaris dan *Grid Pattern*. Berikut hasil pengukuran GCP dan ICP :

Tabel 4.2. Koordinat titik GCP

Titik GCP	Koordinat		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
point 1	0.2	0	0
point 2	0	0	0
point 3	0	0.15	0
point 4	0.2	0.15	0

Koordinat GCP yang digunakan berjumlah 4 titik, koordinat tersebut memiliki nilai tinggi 0 m karena hanya menggunakan lembar *grid pattern*.

Tabel 4.3. Koordinat titik ICP

Titik	Koordinat		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
ICP 1	0.079	0.04	0.11
ICP 2	0.122	0.049	0.071
ICP 3	0.044	0.053	0.055
ICP 4	0.053	0.07	0.11
ICP 5	0.045	0.127	0.033
ICP 6	0.145	0.127	0.034
ICP 7	0.112	0.118	0.133
ICP 8	0.135	0.09	0.088
ICP 9	0.188	0.075	0.046
ICP 10	0.145	0.045	0.054

Koordinat titik ICP yang digunakan berjumlah 10 titik yang tersebar di beberapa titik di

permukaan objek. Pengukuran Koordinat ICP dan GCP terlampir pada Lampiran D.

IV.3. Hasil Identifikasi Warna

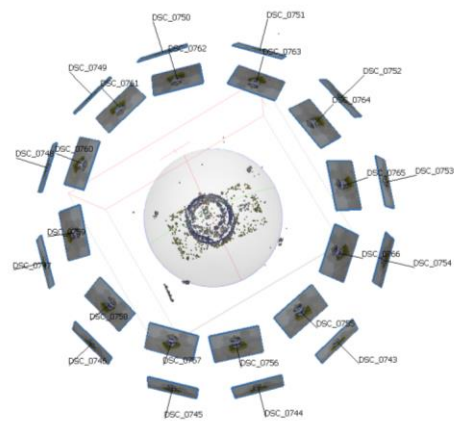
Identifikasi warna dilakukan dengan menggunakan software Identifikasi Warna yang terdapat pada playstore. Sesuai dengan SNI 03-6575-2001 tentang pencahayaan dalam ruangan, Intensitas cahaya 750 lux adalah nilai terbaik untuk pengeekan warna, sehingga digunakan sebagai acuan nilai intensitas cahaya untuk pengecekan warna (analisis radiometrik) dalam ruangan. Berikut hasil identifikasi warna titik GCP

Tabel 4.4. RGB titik GCP

Titik	Warna		
	Red	Green	Blue
ICP 1	40	42	87
ICP 2	102	102	114
ICP 3	49	53	26
ICP 4	101	107	122
ICP 5	77	79	30
ICP 6	61	65	16
ICP 7	77	84	112
ICP 8	93	110	109
ICP 9	78	79	25
ICP 10	63	59	19

IV.4. Hasil pemotretan objek

Pemotretan dilakukan dengan jarak antara sisi foto 30 derajat terhadap pusat objek. Pemotretan menghasilkan foto sebanyak masing-masing 24 foto pada tiap intensitas. Sehingga total foto yang didapat sejumlah 120 foto.



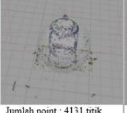
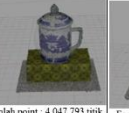
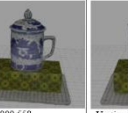


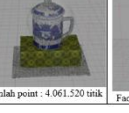


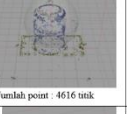
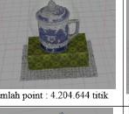
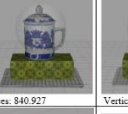

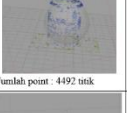
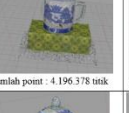


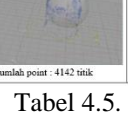
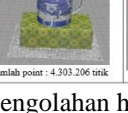
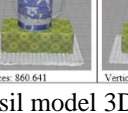
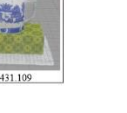
Gambar 4.1. Hasil konfigurasi foto

IV.5. Hasil pemodelan tiga dimensi

Pemodelan tiga dimensi menggunakan *software Agisoft Photoscan* melalui beberapa tahapan pemodelan. Berikut adalah hasil dari tahapan-tahapan pengolahan data untuk dibentuk menjadi model tiga dimensi.

Hasil dense cloud tidak memiliki banyak peredaan dari hasil alignment. Hanya saja, hasil titik-titik dense cloud mempunyai kerapatan yang

lebih baik daripada proses sebelumnya. Tampilan model sementara akan dimunculkan pada layar pekerjaan. Tampilan model ini sudah sedikit memperlihatkan bentuk dari model tiga dimensi yang sebenarnya.

Intensitas cahaya	Proses Pengolahan			
	Align Model	Distort	Meshpoint	Texture Model
0 – 400 lux	 Jumlah point : 4131 titik	 Jumlah point : 4.047.793 titik	 Faces: 809.558	 Vertices: 405.489
400 – 800 lux	 Jumlah point : 4119 titik	 Jumlah point : 4.061.520 titik	 Faces: 812.303	 Vertices: 406.947
800 – 1200 lux	 Jumlah point : 4616 titik	 Jumlah point : 4.204.644 titik	 Faces: 840.927	 Vertices: 421.171
1200 – 1600 lux	 Jumlah point : 4492 titik	 Jumlah point : 4.196.378 titik	 Faces: 839.274	 Vertices: 420.420
1600 – 2000 lux	 Jumlah point : 4142 titik	 Jumlah point : 4.303.206 titik	 Faces: 860.641	 Vertices: 431.109

Tabel 4.5. Pengolahan hasil model 3D

IV.6. Analisis proses georeference

Berikut hasil nilai RMSE dari pengolahan georeferenced.

Tabel 4.6. Hasil analisis RMSE

Model	X error (mm)	Y error (mm)	Z error (mm)	RMSE (mm)
1	0.0635108	0.0791511	0.462053	0.473066
2	0.069894	0.0883569	0.457145	0.470823
3	0.0645534	0.0619505	0.43761	0.446663
4	0.0683852	0.0884224	0.480671	0.493498
5	0.0847555	0.101456	0.440632	0.460036

Dari hasil proses *georeference* yang telah dilakukan, nilai RMS error yang dihasilkan memiliki nilai yang beragam, nilai RMS error terkecil terdapat pada model tiga dimensi intensitas cahaya 3 (800-1200 lux) dan nilai RMS error terbesar terdapat pada model tiga dimensi intensitas cahaya 4 (1200-1600 lux).

IV.7. Analisis geometrik model

Berikut hasil dari analisis geometrik model dari titik koordinat ICP yang digunakan

Tabel 4.7. Hasil analisis geometrik model

Intensitas Cahaya	Rata-rata		
	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)
1	0.00880	0.02349	-0.01264
2	0.02148	0.00343	0.01779
3	0.02189	0.0103	0.01780
4	0.01946	0.0104	0.01769
5	0.01588	0.0282	0.04108

Dari hasil analisis diatas, nilai kesalahan terkecil X pada intensitas cahaya 1600-2000 yaitu 0.11mm, kesalahan terkecil Y pada intensitas cahaya 400 – 800 yaitu -0.1087mm, dan kesalahan terkecil Z pada intensitas cahaya 0 – 400 yaitu - 0.0027mm.

IV.8. Analisis radiometrik model

Berikut hasil dari analisis radiometrik model dari titik koordinat ICP yang digunakan.

Tabel 4.8. Hasil analisis radiometrik model

intensitas	Rata-rata selisih		
	Red error	Green error	Blue error
1	-12	-13,9	-14,2
2	5,9	3,7	1,4
3	21,5	20,6	11,8
4	50,1	53,7	45,5
5	82,9	85,4	69,7

Dari hasil perhitungan analisis radiometrik, model tiga dimensi pada intensitas cahaya 2 (400 – 800 lux) memiliki tingkat perbedaan warna yang paling kecil, hal ini dikarenakan karena nilai acuan warna RGB tidak terpaut jauh dengan intensitas warna hasil model tiga dimensi yaitu 750lux.

Rata-rata perbedaan selisih terkecil nilai RGB acuan dengan hasil RGB titik ICP hasil model intensitas cahaya 2 (400 – 800lux) yaitu red error: 5,9 ; green error: 3,7 ; blue error: 1,4.

Rata-rata perbedaan selisih terbesar nilai RGB acuan dengan hasil RGB titik ICP hasil model intensitas cahaya 5 (1600 – 2000lux) yaitu red error: 582,9 ; green error: 85,4 ; blue error: 69,7.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

IV.1. Kesimpulan

1. RMS error terkecil terdapat pada hasil model tiga dimensi pada intensitas cahaya 3 (800 – 1200lux) sebesar 0.446663mm. sedangkan hasil RMS error terbesar terdapat pada hasil model tiga dimensi pada intensitas cahaya 4 (1200 – 1600) sebesar 0.49349mm. Hal ini dipengaruhi pada saat proses *georeference* dimana pendefinisian posisi GCP sangat berpengaruh pada nilai RMSE.
2. Perbedaan hasil analisis koordinat ICP pada ke lima model tiga dimensi intensitas cahaya menghasilkan nilai yang tidak terlalu berbeda. Selisih antara hasil ke lima model tiga dimensi sangat kecil dibawah 0.5mm. Hal ini dapat disimpulkan pengaruh intensitas cahaya sedikit berpengaruh pada hasil geometrik model tiga dimensi untuk interval 0 sampai 2000 lux.
3. Analisis RGB ICP hasil model tiga dimensi pada intensitas cahaya 2(400-800lux)

memiliki perbedaan warna terkecil, hal ini berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang digunakan sebagai acuan yang memang memiliki perbedaan lux terkecil.

IV.2. Saran

1. Penggunaan ruang studio hanya berguna pada objek yang berukuran kecil. Untuk objek berukuran besar sebaiknya melakukan pemotretan dengan cara kamera mengelilingi objek.
2. Pemilihan objek dengan tekstur warna polos lebih baik dihindari untuk pembuatan pemodelan karena pada saat pengolahan *software* akan lebih sulit mendeteksi bentuk objek
3. Untuk analisis intensitas cahaya, sebaiknya menggunakan objek yang berukuran kecil supaya tidak terjadi perbedaan nilai intensitas cahaya pada beberapa sisi objek.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsadik, B., 2015, "*Guide Close Range Photogrammetry for 3D Modelling of Cultural Heritages Sites*", disertasi, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente, The Netherlands.
- Andrei, Constantin-Octavian., 2006, "*3D affine coordinate transformations*", Master's of Science Thesis in Geodesy No. 3091, School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, Sweden
- Atkinson, 1980. *Development in Close Range Photogrametri-1*. London: Applied Science Publisher.
- Atkinson, 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Harintaka, 2012. Fotogrametri Non Topografi. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gajah Mada
- Leitch, K. R., 2010. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. New Mexico: Lambert Academic Publishers.
- 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.
- Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS: 3rd Edition*. New York: McGraw Hill.