

# ANALISA PERBANDINGAN *SINGLE EPOCH* DAN *MULTI EPOCH* UNTUK PERMODELAN 3D PADA JEMBATAN MENGGUNAKAN METODE FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

Studi Kasus : Bendungan Sengkaling, Kota Malang

Yohanes Babtista Rosi Bani<sup>1</sup>, M Edwin Tjahjadi<sup>2</sup>, Adkha Yulianandha Mabur<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Lowokwaru, Malang Telp.(0341) 551431

Email : [rossybani09@gmail.com](mailto:rossybani09@gmail.com)

## Abstraksi

Pemodelan 3 Dimensi (3D) suatu obyek sudah menjadi salah satu kebutuhan penting dalam banyak bidang seperti pemetaan, pariwisata, dokumentasi, inventarisasi, promosi, animasi, film, dan sebagainya karena memiliki kelebihan tampilan 3D, interaktif dan representatif. Metode fotogrametri jarak dekat merupakan metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan dengan memanfaatkan kamera *Digital Single Lens Reflex* (DSLR). Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data foto objek jembatan 2 *epoch* pemotretan menggunakan kamera Nikon. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ketelitian dan perbandingan model 3D dari *Single Epoch* dan *Multi Epoch* serta untuk mengetahui cara permodelan 3D jembatan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat.

Dalam penelitian ini data foto akan diproses menggunakan *software Agisoft Photoscan Pro V.1.2.4* sehingga menghasilkan permodelan 3D *single epoch* dan *multi epoch*. Hasil permodelan tersebut kemudian akan dianalisa perbandingan model serta ketelitian model sehingga didapatkan hasil perhitungan nilai RMSE.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *multi epoch* dengan jumlah foto 313 buah memiliki tampilan visual yang lebih baik dibandingkan dengan *single epoch*. Hal ini ditandai dengan sedikitnya kekosongan pada permukaan model yang dihasilkan serta memiliki detail yang lebih mendekati objek di lapangan. Hasil perhitungan akurasi didapati model *single epoch* pertama dengan jumlah foto 158 buah memiliki nilai RMSE sebesar 0,006208 m dan *single epoch* kedua dengan jumlah foto 155 buah memiliki nilai RMSE sebesar 0,006301 m dan *multi epoch* dengan jumlah foto 313 buah nilai RMSE sebesar 0,006088 m. Dari hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa *multi epoch* dengan jumlah foto yang lebih banyak memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan *single epoch*.

**Kata Kunci :** DLSR, RMSE, *Single Epoch*, *Multi Epoch*,

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemodelan 3 Dimensi (3D) suatu obyek sudah menjadi salah satu kebutuhan penting dalam banyak bidang seperti pemetaan, pariwisata, dokumentasi,

inventarisasi, promosi, animasi, film, dan sebagainya karena memiliki kelebihan tampilan 3D, interaktif dan representatif. Dengan diiringi pesatnya perkembangan ilmu dan teknologi komputer, kebutuhan pemodelan tersebut semakin mudah untuk dilakukan oleh banyak orang yang menekuninya. Dalam bidang pemetaan dan rekonstruksi, kebutuhan

akan peta interaktif 3D semakin berkembang dan dibutuhkan terutama dalam hal visualisasi dan keruangan. Bangunan *existing* merupakan obyek umum yang dijadikan bahan pemodelan secara 3D (Debevec, P. E., dkk. 1996).

Fotogrametri jarak dekat adalah metode fotogrametri dengan kamera berada di permukaan bumi yang mempunyai jarak antara kamera dengan objek kurang dari 100 meter (Atkinson, 1980). Metode fotogrametri jarak dekat merupakan metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan, dengan memanfaatkan kamera *Digital Single Lens Reflex* (DSLR). Dalam teknik CRP, kualitas proses penentuan koordinat dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen dari kamera agar diperoleh ukuran lebih. Teknik ini mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau dan atau memiliki dimensi yang kecil (Hepi dan Hapsari, 2016).

Yang dimaksud dengan *epoch* dalam penelitian ini adalah waktu pengambilan data foto objek jembatan menggunakan kamera *Digital Single Lens Reflex* yang kemudian divisualisasikan menjadi model 3 dimensi, dan di analisa untuk mengetahui perubahan bentuk model 3 dimensi berdasarkan waktu pengambilan foto dan jumlah foto yang berbeda.

## 1.2 Rumusan Masalah

- 1 Bagaimana melakukan pemodelan 3D jembatan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat
- 2 Bagaimana hasil analisis perbandingan pemodelan 3D *single epoch* dan *multi epoch*

## 1.3 Tujuan Dan Manfaat

- 1 Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah :
  - a. Untuk mengetahui ketelitian model 3D dari *Single Epoch* dan *Multi Epoch*
  - b. Untuk mengetahui perbandingan model 3D dari *Single Epoch* dan *Multi Epoch*
  - c. Untuk mengetahui cara pemodelan 3D jembatan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat.

2 Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- a. Penelitian ini dapat memberikan masukan terhadap metode pemodelan 3D menggunakan pendekatan fotogrametri jarak dekat kedepannya.
- b. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif teknologi pemodelan 3D yang lebih murah, lebih mudah dan lebih efisien untuk diterapkan di masyarakat umum

## 2 DASAR TEORI

### 2.1. Fotogrametri Jarak Dekat (*Close Range Photogrammetry*)

Fotogrametri didefinisikan sebagai suatu seni, ilmu dan teknologi dalam memperoleh informasi yang terpercaya mengenai objek objek dan lingkungan fisis, melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi citra fotografik atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik (Santoso, 2004). Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa perlu berhubungan atau bersentuhan secara langsung dengan objek yang bersangkutan. Pengukuran terhadap objek tersebut dilakukan melalui data yang diperoleh pada sistem sensor yang digunakan.

*Close Range Photogrammetry* atau Fotogrametri Jarak 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). Perkembangan pada dunia fotogrametri seiring majunya teknologi kamera dan komputasi meningkatkan efektivitas waktu dan tingkat akurasi (Leitch, 2002). Istilah fotogrametri jarak dekat pada umumnya digunakan untuk foto terestrial. Karakteristik lain dari teknik fotogrametri jarak dekat yang membedakannya dengan *aerial mapping* adalah dalam pengambilan gambarnya

dilakukan dari sekeliling obyek dan terkadang juga diambil dari dalam obyek tersebut.

## 2.2. Sistem Koordinat Dalam Fotogrametri

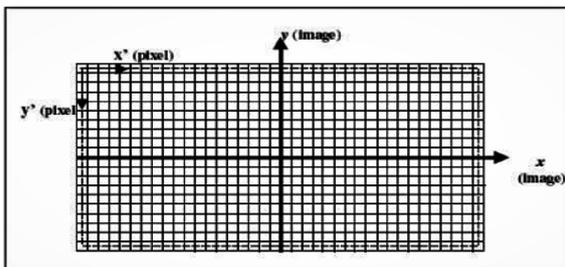
Pada ilmu fotogrametri dikenal beberapa sistem koordinat yang berhubungan dengan foto udara, yaitu: sistem koordinat foto, sistem koordinat pixel, sistem koordinat kamera, dan sistem koordinat objek.

### a. Sistem Koordinat Foto.

Sistem koordinat foto adalah sistem koordinat dua dimensi sebuah foto dimana pada kamera non metrik maupun kamera metrik dimulai dari pixel tengah. Sumbu x positif ke arah kanan dan sumbu y positif ke arah atas.

### b. Sistem Koordinat Pixel.

Sistem koordinat pixel adalah sistem koordinat sebagai referensi titik terkecil pada sebuah foto, yang biasanya dinyatakan dalam satuan mm. Dimana pada kamera non metrik dimulai dari pixel kiri atas, sumbu x positif ke arah kanan (kolom), dan sumbu y negatif ke arah bawah (baris).



Gambar 2.2 Sistem koordinat foto dan pixel (Sumber : E learning ITN Metrik Fotografi)

### c. Sistem Koordinat Kamera

Sistem koordinat kamera merupakan sistem koordinat 3D pada

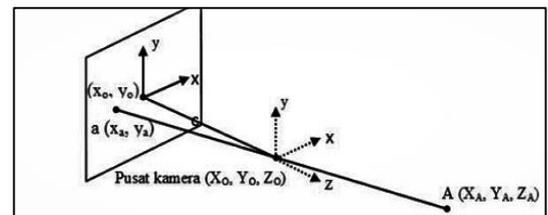
sebuah kamera dengan titik pusat berada pada perspective center. Sumbu xy positif koordinat ini, sejajar dan paralel dengan sumbu xy sistem koordinat objek.

### d. Sistem Koordinat Objek

Sistem koordinat objek merupakan sistem koordinat 3D yang digunakan sebagai representasi bentuk dan ukuran objek melalui transformasi dari sistem koordinat foto ke sistem koordinat objek.

## 2.3. 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 film. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri (gambar 2.3)



Gambar 2.3 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 2.6.  $X_o, Y_o, Z_o$  merupakan titik pusat kamera,  $x_a, y_a, -c$  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 :

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

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

## 2.4. Permodelan 3 Dimensi

3D atau 3 dimensi adalah sebuah objek/ ruang yang memiliki panjang, lebar dan tinggi yang memiliki bentuk. 3D tidak hanya digunakan dalam matematika dan fisika saja melainkan dibidang grafis, seni, animasi, komputer dan lain-lain. Model tiga dimensi dapat memberikan informasi seperti, geometri, visualisasi, dan dimensi dari sebuah objek.

Dalam bidang grafik, pemodelan 3D adalah proses membangun representasi secara matematis dari setiap permukaan tiga dimensi suatu objek menggunakan perangkat lunak khusus. Jika yang dimodelkan adalah objek nyata, maka objek tersebut diukur atau diamati dengan teknologi *survey*. Data berupa *point cloud* sering disebut data tidak terstruktur, sementara representasi model 3D biasanya disebut sebagai data terstruktur seperti model solid (contoh: *Constructive Solid Geometry*) maupun model permukaan (contoh: *Polygonal Mesh*). Dengan demikian, bisa juga dikatakan bahwa pemodelan 3D adalah mengubah data tidak terstruktur menjadi terstruktur. Dari dua buah foto yang bertampalan yang dihasilkan dari dua posisi pemotretan yang berbeda, akan dapat dibentuk sebuah model tiga dimensi. Model ini direpresentasikan oleh titik-titik tiga dimensi (x, y, z). Untuk dapat membentuk model tiga dimensi tersebut diperlukan suatu proses hitungan fotogrametri seperti orientasi dalam, orientasi luar, dan orientasi absolut. Fotogrametri jarak dekat merupakan teknik untuk mendapatkan informasi geometri seperti posisi, ukuran dan bentuk dari suatu obyek yang telah diambil gambarnya dalam bentuk foto (Amiranti, 2016).

## 2.5. Root Mean Square Error (RMSE)

(RMSE) (*root mean square error*), adalah nilai perbedaan nilai sesungguhnya dengan nilai ukuran. RMS residual didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar kesalahan hasil ukuran terhadap nilai yang dianggap benar. Nilai RMS dapat ditentukan menggunakan rumus berikut: (FGDC, 1998)

$$RMSE = \sqrt{(\sum(xi - \mu)^2/n)}$$

Keterangan :

xi = nilai ukuran ke-i

$\mu$  = nilai ukuran yang dianggap benar

n = jumlah ukuran

## 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Penelitian

Jembatan Sengkaling-Tegalondo adalah jembatan yang menghubungkan kawasan Tegalondo, Kecamatan Karangploso, dengan Kecamatan Dau. Jembatan yang melintasi aliran Sungai Brantas yang cukup deras, tepatnya di belakang Taman Rekreasi Sengkaling, itu merupakan jalan tembus yang relatif cepat ketika menuju Karangploso dari Dau atau sebaliknya. Jembatan Sengkaling-Tegalondo berada di koordinat 07°54'805.00"S 112°35'294.00"E.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth, 2017)

### 3.2. Alat Dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan alat dan bahan yang mendukung proses pelaksanaannya. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Peralatan dan *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
  - a. Peralatan :
    1. Satu unit komputer
    2. Pita ukur
    3. Stiker retro
    4. *Hardisk*
    5. Alat tulis
    6. Kamera non metrik Nikon 3400

Adapun spesifikasi kamera Nikon D3400 sebagai berikut:

- *Effective megapixels*: 24.20
- *Total megapixels*: 24.729
- *Sensor size*: 23.5 x 15.6 mm
- *Sensor type*: CMOS

- *Sensor resolution:* 6045 x 4003
- *Max. image resolution:* 6000 x 4000
- *ISO:* Auto, 100-25600
- *Screen size:* 3"
- *Screen resolution:* 921,600 dots
- *Storage types:* SD/SDHC/SDXC
- *USB:* USB 2.0 (480 Mbit/sec)
- *Dimensions:* 124 x 98 x 75.5 mm

b. *Software*

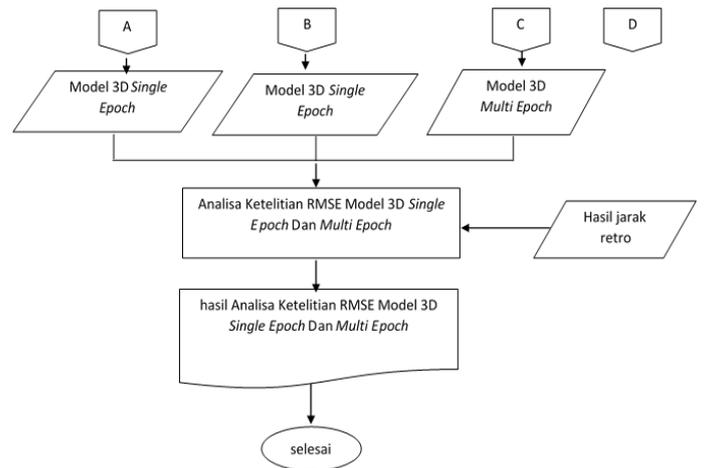
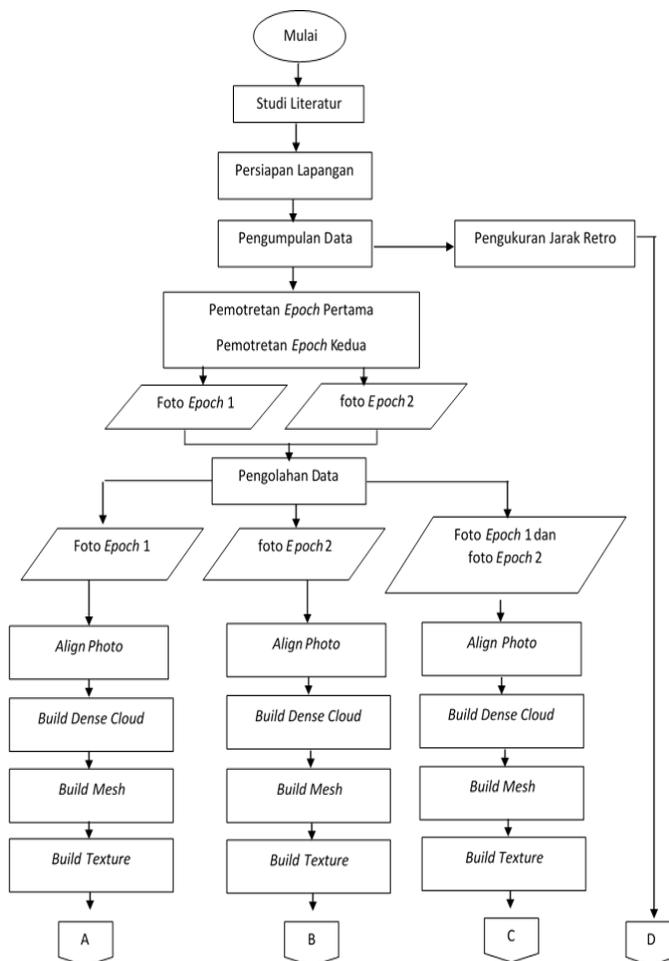
*Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Agisoft photoscan pro V.1.2.4*
2. *Microsoft Office 2010*

2. Bahan yang digunakan sebagai data pelaksanaan penelitian ini adalah:

- a. Data foto foto objek jembatan 2 epoch pemotretan menggunakan kamera Nikon D3400
- b. Data pengukuran jarak retro menggunakan pita ukur

3.3. Tahapan Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir

Adapun penjelasan diagram alir adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperkaya materi serta memperluas pengetahuan tentang hal-hal yang berhubungan dengan topik penelitian.

2. Persiapan lapangan.

Persiapan diperlukan untuk mempersiapkan perlengkapan dan prosedur - prosedur yang berkaitan dengan penelitian seperti pemasangan retro, perijinan dan lain lain.

3. Pengambilan Data.

Dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan kamera DSRL sebanyak 2 sesi pemotretan, serta melakukan pengukuran jarak retro menggunakan pita ukur.

4. Pengolahan Data.

Pada tahap ini pengolahan dilakukan menggunakan *software Agisoft Photoscan* untuk memperoleh visualisasi 3D modeling jembatan sengkaling

Data yang diolah sebagai berikut ;

- a. Foto *epoch 1* divisualisaikan dalam bentuk model 3D *single epoch* pertama
- b. Foto *epoch 2* divisualisaikan dalam bentuk model 3D *single epoch* kedua
- c. Foto *epoch 1&2* divisualisaikan dalam bentuk model 3D *multi epoch*

5. Analisa

Pada tahapan ini dilakukan analisa ketelitian RMSE Model 3D *single epoch* dan *multi epoch* menggunakan jarak antar retro yang telah di ukur menggunakan pita ukur

6. Penyajian hasil analisa ketelitian RMSE Model 3D *single epoch* dan *multi epoch*

**4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada jembatan Sengkaling, terdapat beberapa hasil dan pembahasan dari setiap proses pengambilan data dan permodelan 3 dimensi jembatan. Berikut akan dijelaskan hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan.

**4.1 Hasil Pengukuran Jarak**

Dari hasil pengukuran jarak langsung dilapangan menggunakan pita ukur didapat jarak langsung sebagai berikut

Tabel 4.1 tabel pengukuran jarak langsung

Titik	pertama (meter)	kedua (meter)	ketiga (meter)	keempat (meter)	kelima (meter)	Rata-Rata (meter)
P1-P2	0,178	0,177	0,178	0,178	0,176	0,178
P2-P3	0,197	0,198	0,199	0,198	0,198	0,198
P3-P4	0,200	0,200	0,198	0,200	0,199	0,200
P4-P5	0,198	0,196	0,198	0,196	0,196	0,196
P5-P6	0,215	0,216	0,216	0,217	0,216	0,216
P7-P8	0,155	0,153	0,155	0,154	0,155	0,155
P8-P9	0,285	0,283	0,284	0,285	0,285	0,285
P9-P10	0,650	0,650	0,647	0,652	0,650	0,650
P11-P12	0,162	0,161	0,162	0,162	0,161	0,162
P12-P13	0,266	0,266	0,267	0,266	0,265	0,266
P13-P14	0,226	0,226	0,225	0,226	0,224	0,226
P14-P15	0,234	0,234	0,235	0,234	0,236	0,234
P15-P16	0,200	0,198	0,200	0,201	0,200	0,200

Data rata rata pengukuran langsung ini digunakan untuk menghitung nilai koreksi RMSE untuk mengetahui akurasi ketelitian dari model *single epoch* dan *multi epoch*. Nilai koreksi RMSE diketahui dengan membandingkan jarak langsung dengan jarak yang ada pada aplikasi *Agisoft Photoscan*.

**4.2 Hasil Permodelan 3D**

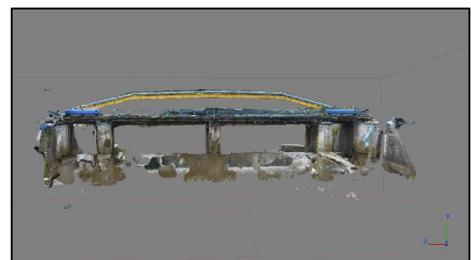
Dari hasil pengolahan foto menggunakan kamera non metrik *single epoch* dan *multi epoch* didapat 3 buah model 3D, *single epoch* satu dengan jumlah foto 158 buah dan *single epoch* dua dengan jumlah foto 155 buah serta model 3D *multi epoch* dengan jumlah foto 313 buah. Berikut hasil model 3D *single epoch* dan *multi epoch*

1 *Single epoch* pertama

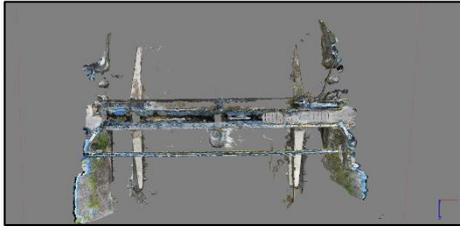
*Single epoch* pertama dengan jumlah foto 158 buah menghasilkan 5.818599 *point cloud*, banyaknya *point cloud* tersebut menghasilkan kerapatan titik yang baik sehingga pada pemrosesanya model 3D yang dihasilkan memiliki bentuk visual sesuai dengan aslinya. *Single epoch* pertama memiliki bentuk visual dan detail yang mendekati bentuk sebenarnya dilapangan tetapi terdapat kekosongan pada model 3D yang diakibatkan oleh pelaksanaan proses editing dimana objek penghalang yang telah terbentuk telah dihapus, karena jika penghalang tersebut tidak dihapus maka akan menghasilkan model 3D yang tidak bagus. Hasil visualisasi model 3D *single epoch* pertama dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4.1Tampak kiri model 3D *single epoch* pertama



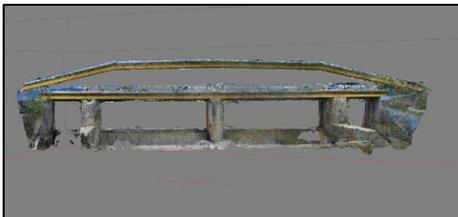
Gambar 4.2 Tampak kanan model 3D *single epoch* pertama



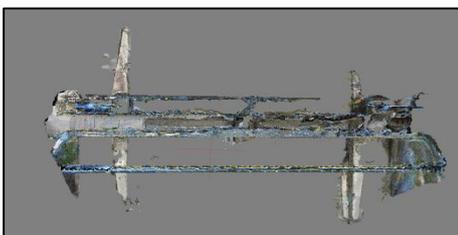
Gambar 4.3 Tampak atas model 3D *single epoch* pertama

## 2 *Single epoch* kedua

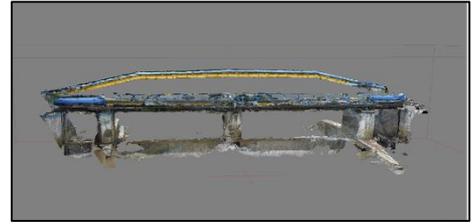
*Single epoch* kedua dengan jumlah foto 155 buah menghasilkan 5.597423 *point cloud*, jumlah *point cloud* ini tidak terlalu berbeda dengan jumlah *point cloud* pada *single epoch* pertama. model 3D *single epoch* kedua memiliki bentuk visual sesuai dengan keadaan sebenarnya dilapangan tetapi terdapat kekosongan pada model 3D yang diakibatkan oleh pelaksanaan proses editing dimana objek penghalang yang telah terbentuk telah dihapus, karena jika penghalang tersebut tidak dihapus maka akan menghasilkan tekstur pada permukaan yang kurang baik. Hasil visualisasi model 3D *single epoch* kedua dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.4 Tampak kiri model 3D *single epoch* kedua



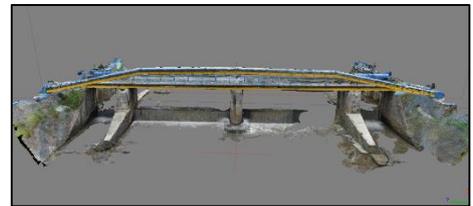
Gambar 4.5 Tampak atas model 3D *single epoch* kedua



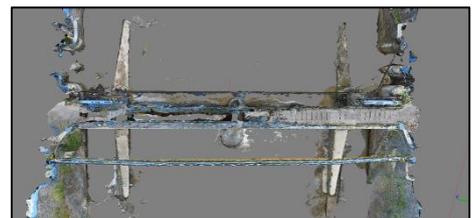
Gambar 4.6 Tampak kanan model 3D *single epoch* kedua

## 3 *Multi epoch*

Model *multi epoch* dengan jumlah foto 313 buah menghasilkan 10.151885 *point cloud*. Jumlah *point cloud* ini lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah *point cloud* yang ada pada *single epoch* sehingga pada pemrosesannya menghasilkan model 3D yang memiliki bentuk visual yang lebih baik dibandingkan model 3D *single epoch*, ditandai dengan lebih sedikitnya kekosongan pada model 3D dan juga memiliki model yang lebih detail dibanding *single epoch*. Hasil visualisasi model 3D *multi epoch* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 4.7 Tampak kiri model 3D *multi epoch*



Gambar 4.8 Tampak atas model 3D *multi epoch*



Gambar 4.9 Tampak kanan model 3D *multi epoch*

Dari hasil perbandingan model 3D *single epoch* dan *multi epoch*, model 3D *multi epoch* memiliki bentuk geometri yang lebih baik dibandingkan model 3D *single epoch* hal ini dikarenakan pada saat proses *build dense cloud*, *multi epoch* menghasilkan jumlah *point cloud* yang lebih banyak dibandingkan *single epoch*. Oleh karena itu pada saat pemrosesannya *multi epoch* memiliki kerapatan *point cloud* yang lebih baik sehingga menghasilkan bentuk geometri dan kedetailan model 3D yang lebih dibanding *single epoch*. Tetapi dalam pemrosesannya *multi epoch* membutuhkan waktu yang lebih lama dibanding model *single epoch*. Hal ini disebabkan karena jumlah foto pada *multi epoch* lebih banyak dibandingkan *single epoch*, dan juga untuk pemrosesannya memerlukan komputer yang memiliki spesifikasi tinggi.

#### 4.1. Analisa Ketelitian Model

Analisa ketelitian model dilakukan untuk mengetahui seberapa besar selisih ukuran objek model 3D jembatan sengkaling dengan ukuran sebenarnya dilapangan. Analisa ketelitian model dilakukan dengan cara membandingkan ukuran jarak retro yang ada pada *software agisoft photoscan* dan ukuran jarak retro dilapangan menggunakan pita ukur dengan ketentuan ukuran jarak retro dilapangan dianggap benar, kemudian dilakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai RMSE. Berikut hasil analisa ketelitian model 3D jembatan sengkaling.

##### 1 *Single epoch* pertama

Hasil analisa ketelitian model *single epoch* pertama dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Analisa ketelitian model *single epoch* pertama

Titik	Jarak lapangan (Meter)	Jarak agisoft (Meter)	Selisih Titik (Meter)
P1-P2	0,178	0,181008	0,003008
P2-P3	0,198	0,198499	0,000499
P3-P4	0,200	0,198095	-0,001905
P4-P5	0,196	0,182377	-0,013623
P5-P6	0,216	0,232739	0,016739
P7-P8	0,155	0,154581	-0,000419
P8-P9	0,285	0,280939	-0,004061

P9-P10	0,650	0,649566	-0,000434
P11-P12	0,162	0,162169	0,000169
P12-P13	0,266	0,265327	-0,000673
P13-P14	0,226	0,225504	-0,000496
P14-P15	0,234	0,235575	0,001575
P15-P16	0,200	0,198516	-0,001484
Total RMSE			<b>0,006208</b>

Dari hasil perbandingan jarak diatas antara jarak model 3D *single epoch* pertama dengan jarak langsung yang diukur dengan menggunakan pita ukur menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,006208 m. *Single epoch* pertama dengan jumlah foto 158 buah memiliki ketelitian yang cukup baik karna memiliki nilai RMSE <1cm. . Dari 13 jarak yang telah diukur selisih terbesar *single epoch* pertama berada pada titik P5-P6 yaitu 0,016739 m dan selisih terkecil pada titik P11-P12 yaitu 0,000169 m.

##### 2 *Single epoch* kedua

Hasil analisa ketelitian model *single epoch* kedua dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Analisa ketelitian model *single epoch* kedua

Titik	Jarak lapangan (Meter)	Jarak agisoft (Meter)	Selisih Titik (Meter)
P1-P2	0,178	0,178738	0,000738
P2-P3	0,198	0,199839	0,001839
P3-P4	0,200	0,198245	-0,001755
P4-P5	0,196	0,182129	-0,013871
P5-P6	0,216	0,233433	0,017433
P7-P8	0,155	0,153493	-0,001507
P8-P9	0,285	0,282533	-0,002467
P9-P10	0,650	0,648567	-0,001433
P11-P12	0,162	0,162628	0,000628
P12-P13	0,266	0,266630	0,000630
P13-P14	0,226	0,226285	0,000285
P14-P15	0,234	0,234279	0,000279
P15-P16	0,200	0,198823	-0,001177
Total RMSE			<b>0,006301</b>

Dari hasil perbandingan jarak diatas antara jarak model 3D *single epoch* kedua dengan jarak

langsung yang diukur dengan menggunakan pita ukur menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,006301 m. Dari 13 jarak yang telah diukur selisih terbesar *single epoch* kedua berada pada titik P5-P6 yaitu 0,017433 m dan selisih terkecil pada titik P13-P14 yaitu 0,000285 m.

### 3 Multi epoch

Hasil analisa ketelitian model *multi epoch* dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Analisa ketelitian model *multi epoch*

Titik	Jarak lapangan (Meter)	Jarak agisoft (Meter)	Selisih Titik (Meter)
P1-P2	0,178	0,179989	0,001989
P2-P3	0,198	0,197770	-0,000230
P3-P4	0,200	0,198883	-0,001117
P4-P5	0,196	0,182422	-0,013578
P5-P6	0,216	0,232450	0,016450
P7-P8	0,155	0,153543	-0,001457
P8-P9	0,285	0,281708	-0,003292
P9-P10	0,650	0,649154	-0,000846
P11-P12	0,162	0,160427	-0,001573
P12-P13	0,266	0,267604	0,001604
P13-P14	0,226	0,225350	-0,000650
P14-P15	0,234	0,234996	0,000996
P15-P16	0,200	0,198791	-0,001209
Total RMSE			<b>0,006088</b>

Dari hasil perbandingan jarak diatas *multi epoch* memiliki ketelitian model yang lebih baik dibanding *single epoch*, model 3D *multi epoch* menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,006088 m. Dari 13 jarak yang telah diukur selisih terbesar dari model 3D *multi epoch* berada pada titik P5-P6 yaitu 0,016450 m dan selisih terkecil pada titik P2-P3 yaitu 0,000230 m.

Berdasarkan analisa ketelitian pada model 3D dari *single epoch* pertama, *single epoch* kedua dan *multi epoch* memiliki total nilai RMSE yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Perbandingan model model 3D *single epoch* dan *multi epoch*

Model 3D	Nilai RMSE (M)
<i>Single Epoch</i> pertama	0,006208
<i>Single Epoch</i> kedua	0,006301
<i>Multi Epoch</i>	0,006088

Berdasarkan tabel 4.5 model 3D *multi epoch* memiliki ketelitian yang lebih baik karena menghasilkan nilai RMSE yang lebih kecil dibandingkan model *single epoch*. hal ini dikarenakan pada saat pemrosesannya multi epoch memiliki jumlah foto yang lebih banyak dan juga *point cloud* yang lebih rapat sehingga menghasilkan model 3D yang lebih teliti.

## 5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai akhir penelitian ini sebagai berikut

- 1 *Multi epoch* dengan jumlah foto 313 buah memiliki tampilan visual yang lebih baik dibandingkan dengan *single epoch* hal ini ditandai dengan sedikitnya kekosongan pada permukaan model yang dihasilkan serta memiliki detail yang lebih mendekati objek dilapangan.
- 2 Dari hasil perhitungan akurasi didapati model *single epoch* pertama dengan jumlah foto 158 buah memiliki nilai RMSE sebesar 0.006208 m dan *single epoch* kedua dengan jumlah foto 155 buah memiliki nilai RMSE sebesar 0.006301 m dan *multi epoch* dengan jumlah foto 313 buah nilai RMSE sebesar 0.006088 m.
- 3 Dari hasil perhitungan akurasi antara *single epoch* pertama, *single epoch* kedua dan *multi epoch* menunjukkan bahwa *multi epoch* dengan jumlah foto yang lebih banyak memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan *single epoch*.
- 4 Dari hasil perbandingan antara *single epoch* dan *multi epoch*, jumlah foto dapat

mempengaruhi kualitas bentuk geometri dan juga akurasi ketelitian model 3D yang dihasilkan.

- 5 Permodelan 3D pada jembatan menggunakan kamera non metrik dapat dilakukan dan memiliki bentuk geometri yang sesuai dengan aslinya, serta memiliki alokasi dana yang terjangkau.

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian ini masih ada hal yang perlu diperhatikan dari proses pengukuran hingga pengolahan data, sehingga saran yang disampaikan adalah sebagai berikut;

- 1 Pada saat pengambilan data perlu diperhatikan pertampalan antar foto sehingga dapat menghasilkan model 3D yang lebih baik
- 2 Untuk proses pengolahan foto dengan jumlah yang banyak perlu diperhatikan spesifikasi komputer yang digunakan, disarankan menggunakan komputer yang memiliki spesifikasi yang bagus agar dapat menghemat waktu pekerjaan.
- 3 Untuk permodelan 3D pada objek objek besar seperti bangunan, jembatan dll perlu dilakukan kombinasi antara kamera non metrik dan UAV agar menghasilkan model 3D yang lebih baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Martinus Edwin Tjahjadi, ST., MGeomSc., PhD dan Bapak Adkha Yulianandha Mabur, ST., MT sebagai dosen pembimbing dalam kegiatan, Dan juga Marvi Kafiar, Ruly Arthur, Dode, Habil, Ovelia, Olet, Beata, Toni Angkur Ani Manek, Asri Seran, Gracela, Kristo Deni Apriyadi, Marito yang telah membantu dalam proses pengambilan data.

## DAFTAR PUSTAKA

Amiranti, A. Y., (2016), *Pembuatan Model Tiga Dimensi Menggunakan Foto Jarak Dekat dengan*

*Kombinasi Metode Interaktif dan Otomatis.* Skripsi, Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Andi Panguriseng. 2016. "Mozaik Citra", URL : [https://sites.google.com/site/etojie/home/mozaik\\_citra](https://sites.google.com/site/etojie/home/mozaik_citra)

Atkinson, K.B., 1996, *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*,

Atkinson. 1980. *Developments in Close Range Photogrammetry-1. Applied Science Publishers. London.*

Bern, M. W. and Eppstain, D., 1992. *Mesh generation and optimal triangulation. Chapter 1 in Computing in Euclidean Geometry (Eds. D.-Z. Du and F. K. Hwang). World Scientific, River Edge, New Jersey. Lecture Notes Series on Computing, Vol 1, 385 pages: 23-9.*

Debevec, P. E., dkk. 1996. *Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. Computer.*

FGDC., C S., & Kenneth, L E., 2000, *Design And Implementation of a Computational Processing System for off-line Digital Close Range Photogrammetry. ISPRS journal of photogrammetry and remote Sensing, 55(2):94-104.*

Harahap Jaya Sarkawi, Handayani Hapsari Hepi. 2016. *Visualisasi 3D Objek Menggunakan Teknik Fotogrametri Jarak Dekat.* Institut Teknologi Surabaya.

Herianto. 2013. *Studi Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) Dengan Teknik Close Range Photogrammetry.* Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Malang: Malang.

Ildar V. Valiev. 1999. *3D Reconstruction of architectural objects from photo. The 9th International*

- conference on computer graphics and vision*, Moscow, Russia, Aug 26-sep 1.
- Leitch, Kenneth. 2002. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*.
- Mukhlis. 2014. "Pembuatan Digital Surface Model (DSM) Dari Citra Foto UAV Menggunakan Agisoft Photoscan Profesional Versi 0.9". Institut Teknologi Nasional Malang.
- Santoso, B., 2004, *Review Fotogrametri 1 Bagian-2*, Catatan Kuliah Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Supriyadi, B., dan Muntohar, A. S. 2007. *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset
- Soeta'at. 2004. *Fotogrametri Digital*. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tjahjadi, E.M. dan Djauhari. Tantrie.(2017). *Modeling 3 dimensi sungai dari foto udara*. Program studi Teknik geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. dan Handoko.F.(2017). *Precise Wide Baseline Stereo Image Matching for Compact Digital Cameras*. Institut Teknologi Nasional Malang
- Tjahjadi, E.M. dan Tanzil.M.(2007). *Penentuan Parameter Orientasi Luar Pada Foto Konvergen Menggunakan Matrik Esensial*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. dan Handoko.F.(2017). *Singel Frame Resection of Compact Digital Cameras for UAV Imagery*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. (2017). *Novel Image Mosaicking of UAV Imagery using Collinearity*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E.M. (2018). *Studi Pemetretan Udara dengan Wahana Quadcopter UAV Photogrammetry Menggunakan Kamera Non Metrik Digital*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., and Purwanto H., (2015). *Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah Longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., (2017). *Photogrammetric Area-Based Least Square Image Matching for Surface Reconstruction*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., and Agustina, F. D (2019). *Fast and stable direct relative orientation of UAV-based stereo pair*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., and Rokhmah C. A., (2019). *Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Pantimena, L., Anto, G. H., Astrini, R., dan Mulyati, S., (2009) *Pemantauan Deformasi Jalan Layang dan Kereta Api dengan Kamera Dijital di Kota Malang*.
- Wijayanti, M., 2008. *Uji Coba Penentuan Unsur-Unsur Orientasi Dalam Kamera Digital Non-Metrik Dengan Metode Pendekatan Sederhana*. ITB. Bandung.
- Wigrata, H.. 1986. *Kalibrasi Besar Besaran Panjang Fokus Dan Distorsi Lensa Pada Kamera Non-Metrik*. Skripsi Sarjana Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Wolf, P., R. 1993. *Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*, Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.