

Visualisasi 3D Objek Menggunakan Teknik Fotogrametri Jarak Dekat

Sarkawi Jaya Harahap dan Hepi Hapsari Handayani

Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: hapsari@geodesy.its.ac.id

Abstrak— *Fotogrametri Jarak Dekat (Close Range Photogrammetry) adalah teknik fotogrametri dengan menggunakan prinsip kesejarisan atau kolinearitas, namun dalam pengambilan data dilakukan pada jarak dekat yakni 100 mm sampai dengan 300 m. Seiring perkembangan teknologi era digital semakin memudahkan manusia dalam menyelesaikan masalah. Perhitungan CRP dapat digunakan dengan metode image matching, Image matching ini memiliki kegunaan antara lain : melakukan proses orientasi relatif, pembentukan 3D model, pembentukan DEM (Digital Elevation Model), serta pembuatan ortofoto. Dalam penelitian ini melakukan visualisasi 3D model objek dengan memanfaatkan teknologi komputer dalam melakukan pengukuran 3D Teknik Fotogrametri jarak dekat pada objek kontainer (beraturan). Bentuk objek tersebut memiliki ukuran kecil sehingga pengukuran GCP (Ground Control Point menggunakan alat pita ukur. Visualisasi 3D Objek dapat dibentuk dari point cloud dan data DEM (Digital Elevation Model).*

Kalibrasi dilakukan dengan dua cara yaitu kalibrasi secara otomatis (image matching) pada objek grid dan kalibrasi analitik (manual) pada objek kontainer. Hasil kedua kalibrasi dapat dilihat bahwa nilai panjang fokus memiliki perbedaan yang relatif kecil sebesar 0,142 mm. Nilai koordinat pusat kamera memiliki perbedaan selisih sebesar 0,503 mm untuk sumbu x dan 0,117 mm untuk sumbu y. Selisih nilai K_1 , K_2 , dan K_3 pada kedua kalibrasi sebesar 0,0000169; 0,000 dan 0,000. Sedangkan nilai koefisien P_1 dan P_2 memiliki selisih sebesar 0,000498 ; 0,000. Perbedaan nilai kalibrasi kamera diatas dapat dipengaruhi oleh kondisi objek kalibrasi. Dan ketelitian koordinat 3D objek kalibrasi otomatis lebih akurat terhadap koordinat ICP pita ukur, yaitu 80% kordinat X, Y, dan Z dapat diterima, sedangkan hasil koordinat 3D model kalibrasi analitik yaitu 60 % titik koordinat Y dapat diterima dan 80% titik koordinat X dan Z dapat diterima.

Kata Kunci: *Close Range Photogrammetry, Kalibrasi Kamera,, 3D Model*

I. PENDAHULUAN

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 [1]. Penggunaan metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrammetry* (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat, 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 [2]. Dengan aplikasi lain yaitu dalam penentuan volume suatu bidang [3].

Prinsip Dasar dalam penyelesaian permasalahan Fotogrametri Jarak Dekat adalah dengan menerapkan prinsip persamaan kondisi kolinearitas. Kolinearitas merupakan kondisi dimana stasiun pemotretan foto, titik objek, dan gambar foto, semua terletak pada satu garis lurus. Persamaan kolinearitas yang digunakan adalah [4] :

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

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

Dengan x_a dan y_a merupakan koordinat titik A di foto, x_o dan y_o merupakan koordinat titik utama, koordinat X_A Y_A dan Z_A merupakan koordinat titik A pada objek, X_L Y_L dan Z_L merupakan koordinat pusat pemotretan, f merupakan panjang fokus kamera, dan m merupakan elemen matriks rotasi.

Image matching atau biasa disebut *automatic stereo matching* dimulai pada tahun 50-an yang dilakukan oleh *Hobrough* dengan mencocokkan 2 foto berdasarkan derajat keabuan atau *grey levels* [5]. *Image Matching* suatu proses mencari atau mengidentifikasi pasangan suatu titik yang muncul pada dua foto atau lebih secara otomatis. Pada instrumen analog/analitik *image matching* dilakukan oleh operator secara manual menggunakan persepsi 3D mata kiri dan kanan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana cara melakukan pembntukan 3D model objek dengan menggunakan metode CRP. Objek yang digunakan memiliki bentuk beraturan, yaitu memiliki bentuk kotak yang bertujuan untuk mengurangi kesalahan dalam pengukuran. Pengukuran dengan pita ukur dilakukan keperluan CRP dikarenakan objek pengukuran memiliki ukuran relatif kecil. Kalibrasi kamera dilakukan menggunakan perhitungan *Bundle Adjustment Laboratory Calibration* pada dua objek, yaitu objek grid untuk kalibrasi otomatis (*image matching*) dan objek kotak sebagai objek penelitian untuk kalibrasi analitik (manual). Hasil

visualisasi 3D objek dari hasil kedua kalibrasi tersebut akan dibandingkan ketelitian koordinat berdasarkan uji statistika dengan koordinat pengukuran pita ukur yang dianggap benar.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Tugas Akhir ini dengan objek kotak kontainer berlokasi di halaman Workshop Mobil Listrik ITS, kampus ITS Sukolilo Surabaya.



Gambar 1. Lokasi dan objek penelitian

B. Data dan Perangkat Lunak

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Bidang kalibrasi kamera 2D berupa grid untuk kalibrasi otomatis dan foto kalibrasi objek kontainer untuk kalibrasi Analitik (manual).
- Data spesifikasi kamera digital non-metrik Nikon D3000.
- Data pengukuran *Grund Control Point* (GCP) kontainer menggunakan pita ukur.
- Foto-foto objek kontainer untuk pembentukan 3d model.

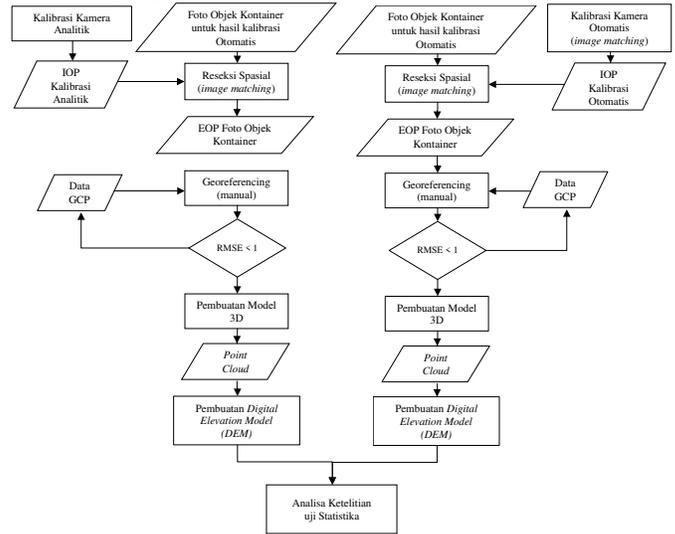
Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi dalam kelompok *hardware* (perangkat keras) dan *software* (perangkat lunak) yaitu :

- Perangkat keras
 - Kamera digital non-metrik SLR Nikon D3000 10 megapiksel, CCD Sensor APS-C (23,6 x 15,8), resolusi piksel 3872 x 2592, digunakan sebagai alat untuk pengambilan foto kalibrasi dan pembuatan 3D model
 - Pita ukur Komelon Unigrip Flx Kmc 1800 berukuran panjang 30 meter, dengan skala bacaan terkecil milimeter, bahan pita *Fiber Glass*.
 - Laptop sebagai alat pengolahan data
- Perangkat Lunak
 - Perangkat pengolah data fotogrametri
 - MATLAB* untuk pengolahan data kalibrasi Analitik.

C. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini terbagi menjadi 2 yaitu, tahapan pengolahan kalibrasi kamera dan pengolahan data CRP.



Gambar 3. Diagram alir pengolahan CRP

Penjelasan diagram alir diatas adalah sebagai berikut:

1. Kalibrasi kamera Otomatis

Kalibrasi kamera otomatis pada objek grid 2D secara otomatis dilakukan menggunakan software menggunakan bidang grid 2D memiliki 100 titik dengan 4 titik kontrol. Pemotretan kalibrasi dilakukan dengan empat sisi dengan masing-masing sisi terbagi menjadi 3 foto, yaitu foto dengan posisi landskape dan 2 foto dengan posisi potrait masing-masing rotasi 90 ke-kanan dan 90 ke-kiri. Jumlah pengambilan foto serta intensitas pencahayaan sangat mempengaruhi kualitas kalibrasi kamera. Kemudian dilakukan pengolahan kalibrasi secara otomatis (*image matching*) dengan metode *self calibration*. Dalam hal ini kalibrasi yang baik harus memiliki $RMS \leq 1$ piksel. Selain itu titik-titik kalibrasi harus terorientasi satu sama lain minimal 80%.

2. Kalibrasi kamera analitik (manual)

Kalibrasi dengan objek kontainer bertujuan untuk mendapatkan geometris IOP lebih baik daripada grid 2D. Adapun kegiatan dalam melakukan kalibrasi bidang objek kontainer adalah sebagai berikut:

- Penempatan titik kontrol yang tersebar secara merata pada objek kontainer sebelum melakukan pemotretan. Jumlah desain titik kotrol berjumlah 16 titik GCP.
- Melakukan pengukuran GCP dengan alat ukur pita ukur masing-masing GCP dengan sistem koordinat 3D (X,Y dan Z).
- Melakukan pemotretan bidang kalibrasi.
- Melakukan ekstraksi koordinat GCP dalam piksel (2D).
- Melakukan transformasi koordinat piksel GCP ke koordinat foto dalam mm dengan memasukkan data spesifikasi kamera yaitu ukuran sensor dan ukuran piksel foto.

- f. Melakukan proses reseksi spasial untuk mendapatkan nilai parameter orientasi luar (EOP) yaitu X_l , Y_l , Z_l , Omega, phi dan kappa.
 - g. Melakukan proses *Bundle Adjustment Laboratory Calibration* untuk mendapatkan nilai orientasi dalam (IOP). Proses *Bundle Adjustmen Self Calibration* dilakukan secara simultan sampai mencapai nilai konstan pada setiap parameter IOP kamera, sehingga nilai RMSE < 1 mm.
3. Pengolahan data CRP dilakukan dengan kegiatan berikut ini:
- a. Penentuan titik GCP yang tersebar pada objek kontainer.
 - b. Titik GCP tersebut di ukur dengan pita ukur untuk mendapatkan data jarak. Sehingga mendapatkan koordinat 3D (X, Y dan Z). Titik GCP ini digunakan untuk georeferencing pada foto.
 - c. Pengolahan data CRP dilakukan dengan dua *software* yang berbeda, sehingga pengolahan foto juga dilakukan dengan foto yang berbeda.
 - d. Reseksi spasial atau orientasi relatif dilakukan secara otomatis dengan metode *image matching* pada software. Reseksi spasial ini bertujuan untuk mendapatkan koordinat stasiun pemotretan dan orientasi kamera (X_l , Y_l , Z_l , Omega, phi, Kappa).
 - e. Georeferencing dilakukan dengan memasukkan koordinat GCP hasil pengukuran untuk mendapatkan koordinat nyata pada foto. Georeferencing ini dilakukan secara manual dengan melakukan marking pada foto yang bertampalan. Hasil Georeferencing ini harus memiliki RMSE < 1 piksel.
 - f. Langkah selanjutnya adalah pembuatan 3D Model dengan mengasihkan permukaan objek dalam bentuk *point cloud*. *Point cloud* ini kemudian dibentuk menjadi data *Digital Elevation Model* (DEM).

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil dan Analisa Kalibrasi Kamera Objek Otomatis

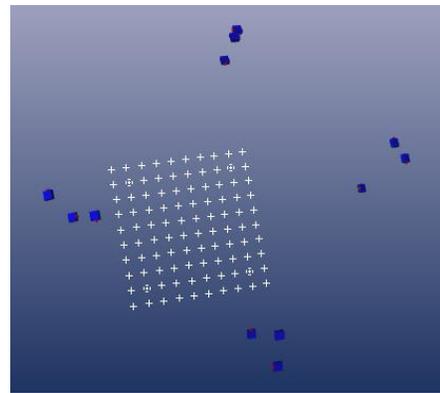
Pada pengolahan kalibrasi kamera otomatis dapat diketahui nilai parameter internal seperti panjang fokus terkalibrasi adalah 24,216 mm. Hal ini terdapat selisih perubahan panjang fokus awal sebesar 0,216 mm. *Principal point* (koordinat pusat kamera) pada sensor kamera memiliki nilai X_p dan Y_p masing-masing 11,968 mm dan 7,884 mm. Nilai koordinat kamera 0,0 mm berada di posisi pojok kanan atas, seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.8 dibawah. Nilai K_1 , K_2 , dan K_3 masing-masing bernilai 0,0001 mm, -0,00000003 dan 0,000 mm. Nilai K_3 tidak dapat dihitung, karena pada perangkat lunak nilai K_3 digunakan ketika memiliki *wide angle lenses*.

Untuk mendapatkan akurasi yang baik pada kalibrasi harus memiliki nilai RMS dibawah 1 piksel. Tetapi hasil kalibrasi menunjukkan terdapat nilai lebih besar dari satu piksel, yaitu 1,32 piksel pada titik 5 photo 12. Hal ini dikarenakan pada saat pemotretan terdapat kesalahan terutama kurangnya pencahayaan sehingga mengakibatkan perbedaan gradasi warna

antara satu foto dengan foto yang lain. Sedangkan nilai RMS secara umum memiliki nilai 0,272 piksel dimana memiliki nilai lebih kecil dari 1 piksel. Jumlah area foto yang tertutupi oleh titik adalah 79%, hal ini merupakan kurang 1% untuk mencapai 80% .

Tabel 1.
Hasil Parameter Internal Kamera

Parameter Internal	Nilai (mm)	Standar Deviasi
Panjang Fokus	24,216	0,003
X_p	11,968	0,003
Y_p	7,884	0,004
K_1	0,0001	0,000002
K_2	0,0000018	0,00000001
K_3	0	0
P_1	0,00002	0,000002
P_2	-0,000008	0,000002



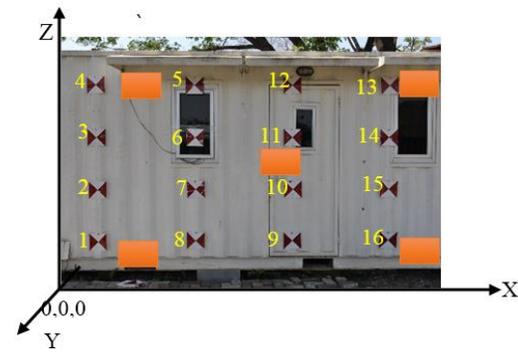
Gambar 4. Tampilan posisi kamera dan titik GCP kalibrasi

Tabel 2.
Kualitas Kalibrasi Kamera

Kualitas	Parameter	Nilai
Foto kalibrasi	Jumlah Foto	12
	Jumlah terorientasi	12
Kamera	Jumlah foto yang digunakan	12
	Area foto ter-cover	79%
Titik Residual	RMS Keseluruhan	0,272 piksel
	Maksimum	1,317 piksel
	Minimum	0,202 piksel
	RMS Maksimum	0,107 piksel
Kerapatan titik	RMS Minimum	0,107 piksel
	Maksimum	0,00083 m
Presisi Titik	Minimum	0,00016 m
	RMS panjang vector keseluruhan	0,00009 m
	Panjang vektor maksimum	0,0001 m
	Panjang vektor minimum	0,00009 m

B. Hasil dan Analisa Kalibrasi Analitik (Manual)

Foto kalibrasi objek kontainer menggunakan panjang fokus yang sama dengan kalibrasi laboratorium grid 2D yaitu 24 mm. Hal ini telah disesuaikan dengan kondisi lapangan pada saat pemotretan. Titik GCP berjumlah 16 titik terebar secara teratur dengan jarak antar titik untuk x dan y adalah 100 cm dan 60 cm diukur menggunakan pita ukur.



Gambar 5. Objek kalibrasi analitik dan stasiun pemotretan

Proses *Bundle Adjustment Self Calibration* dilakukan secara simultan sampai mendapatkan nilai yang stabil hingga 12 kali pengulangan (iterasi). Adapun hasil kalibrasi kamera dapat dilihat dari 5 foto dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3.

Hasil Parameter Internal Kamera Objek Kontainer

IOP	Value (mm)
Focal Length	24,358
Xp	-0,535
Yp	-0,237
K1	0,0003
K2	-0,000002
K3	0,000
P1	0,0005
P2	-0,0001

Pada pengolahan kalibrasi objek kontainer dapat diketahui kualitasnya seperti stabilitas perubahan setiap iterasi *Bundle Adjustment Self Calibration*. Selisih iterasi dapat dilihat kokonstanan atau nilai perubahan setiap iterasi. Pararameter Xp mencapai nilai konstan pada iterasi 10, Yp mencapai nilai konstan pada iterasi ke 6, panjang fokus (f) dan K1 mencapai nilai konstan pada iterasi 9, K2 mencapai nilai konstan pada iterasi ke 10, K3 pada ietrasi 8, P1 pada iterasi 10, dan P2 pada iterasi 11. Masing-masing parameter memiliki menunjukkan bahwa kekontanan nilai perubahan berbeda-beda satu sama lain. Nilai parameter orientasi dalam yang digunakan pada iterasi ke 12. Kamera SLR Nikon D3000 merupakan jenis kamera format kecil karena memiliki panjang fokus 18-55 mm. Kamera ini memiliki distorsi lensa yang cukup besar karena mencapai nilai stabil pada iterasi ke 8.

Kesalahan radial dapat diketahui dari perhitungan koefisien distorsi radial (K1, K2 dan K3) dengan jarak radial dengan mengikuti deret aritmatika dimana nilai jarak radial mengalami kenaikan order perkalian setiap koefisien yang berbeda. Jika nilai kesalahan radial < 1 maka maka lensa kamera mengalami distorsi cembung. Sedangkan nilai kesalahan radial > 1, maka lensa kamera mengalami distorsi cekung. Pada tabal dibawah diketahui nilai kesalahan radial pada foto tengah kurang dari 1, sehingga dapat dikatakan lensa kamera SLR D3000 mengalami distorsi cembung.

Tabel 4.
Kesalahan Radial Pada Foto Tengah (satuan mm)

Titik	X	Y
1	-0,136	-0,072
2	-0,121	-0,019
3	-0,125	0,026
4	-0,145	0,084
5	-0,022	0,041
6	-0,009	0,006
7	-0,008	-0,004
8	-0,020	-0,032
9	0,023	-0,034
10	0,011	-0,004
11	0,012	0,007
12	0,027	0,043
13	0,154	0,086
14	0,133	0,027
15	0,130	-0,019
16	0,144	-0,072

C. Hasil dan Analisa Pembentukan 3D Model Objek

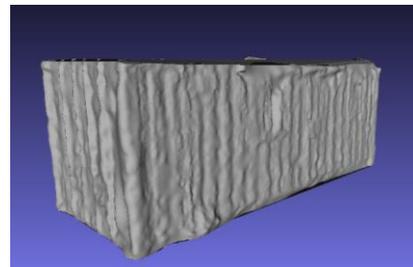
Pengolahan foto menjai 3D Model dilakukan beberapa tahapan seperti, reseksi spasial secara otomatis dan secara manual, georeferencing, pembentukan *point cloud* untuk mendapatkan bentuk permukaan objek, dab pembentukan DEM.

Reseksi spasial secara otomatis dilakukan untuk mendapatkan posisi stasiun kamera dan orientasi sudut terhadap posisi objek, sedangkan reseksi spasial secara manual digunakan sebagai titik GCP lapangan.

Foto yang digunakan untuk membentuk model 3D berjumlah 56 buah foto dengan pengambilan jarak antara stasiun rata-rata 1 meter dan jarak antara kamera terhadap objek rata-rata 4 meter. Posisi pengambilan foto kamera tegak lurus terhadap objek. Bagian atas objek tidak dilakukan pengambilan foto karena dianggap memiliki permukaan yang rata.



Gambar 6. Hasil *Dense Surface Modelling* untuk pembentukan *point cloud* (hasil kalibrasi otomatis)



Gambar 7. Hasil 3D model setelah melakukan proses *triangulation*

Pengolahan foto 3D CRP pada objek dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat pengolahan CRP. Proses tersebut terdiri dari proses reseksi spasial yang dilakukan secara otomatis antar foto yang sesuai, pembentukan *point cloud*, serta pembentukan DEM. Jumlah foto yang digunakan berjumlah 48 foto. Teknik pengambilan foto sesuai dengan *frame* (area) pengambilan foto pada saat melakukan kalibrasi dengan jarak antara stasiun rata-rata 1 meter.



Gambar 8. *Point cloud* sebelum proses *editing* (Hasil kalibrasi Analitik)

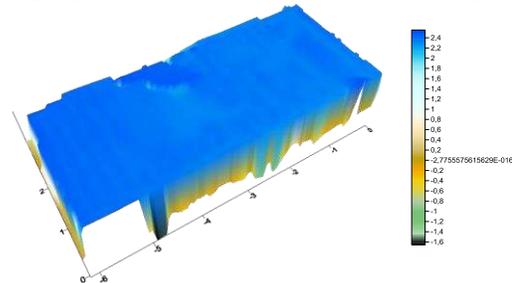


Gambar 9. Hasil 3D model setelah melakukan proses *editing*

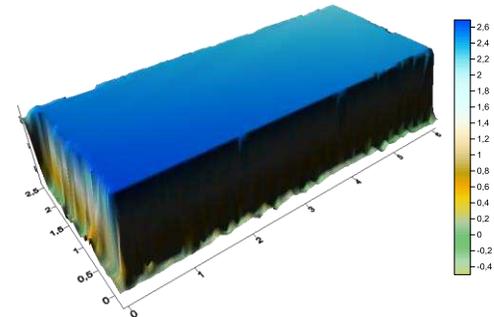
Analisa bentuk 3D Model hasil kalibrasi otomatis pada pengolahan foto masih terdapat kekurangan. Pada gambar 4.16 diatas proses pembentukan *point cloud* belum sempurna. Dilihat dari bentuk DSM yang tidak tertutupi. Adapun faktor penyebabnya seperti kualitas foto, metode pengambilan foto serta terdapat objek lain yang dapat menghalangi pembentukan 3D Model. Kualitas foto dapat dipengaruhi dengan pencahayaan yang kurang, hal ini mengakibatkan pembentukan DEM yang kurang baik. Analisa Planimetris dapat dilihat dari data orientasi relatif secara otomatis dan manual. Secara otomatis berjumlah 11.706 titik, sedangkan jumlah titik orientasi relatif secara manual berjumlah 12 titik.

Hasil Pada pengolahan foto dengan 12 titik GCP pada model kalibrasi analitik memiliki RMSE 0,359 piksel atau 0,002 mm. Nilai RMSE tersebut < 1 piksel. Ukuran 1 piksel pada foto sama dengan 0,006 mm pada koordinat foto. Analisa bentuk 3D Model hasil kalibrasi objek kontainer dapat dilihat pada gambar 4.20. Gambar tersebut terlihat sempurna dan memiliki tekstur yang jelas pada permukaan objek. Pada bagian atas dan bawah dapat tertutup secara otomatis sehingga pembuatan DEM dapat dilakukan dengan sempurna. Bentuk permukaan yang bergelombang juga dapat dibedakan dari bentuk 3D

Model ini. Hal ini metode *image matching* pada pengolahan foto ini memiliki kualitas yang bagus.



Gambar 10. Tampilan DEM hasil kalibrasi Otomatis



Gambar 11. Tampilan DEM hasil kalibrasi analitik

D. Pengukuran dengan Pita Ukur

Pengukuran jarak horisontal dengan pita ukur merupakan penerapan panjang yang diketahui pada pita berpembagian skala langsung pada sebuah garis beberapa kali. Metode pengukuran jarak dengan pita ukur dengan mengurangkan bacaan skala pita ukur dibelakang dengan bacaan skala pita ukur di depan. Untuk mengurangi kesalahan dalam pengukuran ini maka dilakukan pengukuran berulang kali. Jika panjang objek yang diukur lebih kecil dari panjang pita ukur yang digunakan, maka langsung dapat ditentukan jarak ketia titik tersebut. Dalam hal ini menggunakan pita ukur 30 meter, sedangkan jarak objek kontainer maksimal sebesar 6,040 meter sehingga dapat ditentukan jarak antara titik tanpa dilakukan pengukuran bertahap. Pengukuran GCP dalam penelitian ini untuk mendapatkan data GCP kalibrasi analitik dan GCP georeferencing 3D Objek dan koordinat ICP.

E. Uji Statistik

Analisa uji statistika pada pemodelan 3D dilakukan dengan membandingkan koordinat hasil 3D Model dengan koordinat ICP (*Independent Check Point*). Koordinat ICP merupakan koordinat GCP yang tidak dimasukkan pada saat melakukan georeferencing. Perbandingan hasil koordinat ICP 3D Model dengan koordinat ICP hasil pengukuran pita ukur dilakukan menggunakan uji statistik *t-student*. Titik ICP hasil pengukuran pita ukur berjumlah 5 titik. Hipotesa nol diterima atau ditolak maka dibutuhkan konsultasi terhadap tabel distribusi *t-student* dimana derajat kepercayaan yang digunakan adalah 90% dengan metode berupa *two-tailed test* dimana H_0 ditolak jika $T > t_{\alpha/2,n}$ atau $T < -t_{\alpha/2,n}$ maka $\alpha = 10 \%$,

maka nilai t pada tabel t -student bernilai 2,92 dengan derajat bebas n adalah 2.

Tabel 4.
Hasil Uji t -Student Koordinat X (meter)

Nama	Min Interval	Max. Interval	3D Model kalibrasi Analitik	3D Model kalibrasi Otomatis
ICP1	2.039	2.101	2.076	2.076
ICP2	6.009	6.071	6.061	6.031
ICP3	2.604	2.666	2.62	2.646
ICP4	0.019	0.081	0.047	0.071
ICP5	-0.031	0.031	0.0912	0.039

Tabel 5.
Hasil Uji t -Student Koordinat Y (meter)

Nama	Min Interval	Max. Interval	3D Model kalibrasi Analitik	3D Model kalibrasi Otomatis
ICP1	-0.084	0.084	-0.024	-0.028
ICP2	1.751	1.919	1.933	1.897
ICP3	2.346	2.514	2.447	2.425
ICP4	2.098	2.266	2.044	2.074
ICP5	2.346	2.514	2.493	2.416

Tabel 6.
Hasil Uji t -Student Koordinat Z (meter)

Nama	Min Interval	Max. Interval	3D Model kalibrasi Kontainer	3D Model kalibrasi Grid
ICP1	1.334	1.472	1.418	1.416
ICP2	2.074	2.212	1.869	2.138
ICP3	1.289	1.427	1.174	1.339
ICP4	0.345	0.483	0.372	0.414
ICP5	2.501	2.639	2.51	2.52

Hipotesa nol ditolak ditandai berwarna merah pada tabel 4, 5 dan 6. Secara umum, Koordinat hasil 3D Model Objek kalibrasi Analitik dilihat dari prosentase diterimanya hipotesa nol pada koordinat X, Y dan Z berturut-turut adalah 80%, 60%, dan 80%, sedangkan koordinat 3D Model kalibrasi Otomatis diterimanya hipotesa nol berturut-turut adalah 80%, 80%, dan 80%. Kalibrasi Kontainer dikategorikan baik untuk sumbu X dan Z, dan cukup untuk sumbu Y. Sedangkan kualitas koordinat 3D Model Objek kalibrasi otomatis dikategorikan baik untuk sumbu X, Y dan Z. Sehingga kualitas koordinat 3D Model Objek Kalibrasi Kontainer dikategorikan baik untuk sumbu X dan Z, dan cukup untuk sumbu Y. Sedangkan kualitas koordinat 3D Model Objek kalibrasi otomatis dikategorikan baik untuk sumbu X, Y dan Z. Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa koordinat 3D Model kalibrasi otomatis lebih akurat dari koordinat 3D Model kalibrasi analitik. Kesalahan koordinat tersebut disebabkan bentuk 3D model objek yang tidak sempurna.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah 3D Objek dapat dibentuk dengan metode CRP dapat divisualisasikan dalam bentuk *point cloud* dan data DEM. Selisih kalibrasi otomatis dengan analitik tidak teralau signifikan, dan nilai setiap parameter internal kamere memiliki nilai lebih besar dari hasil kalibrasi otomatis.

Hasil koordinat 3D model kalibrasi otomatis lebih akurat terhadap koordinat ICP pita ukur, yaitu 80% kordinat X, Y,

dan Z dapat diterima, sedangkan hasil koordinat 3D model kalibrasi analitik yaitu 60 % titik koordinat Y dapat diterima dan 80% titik koordinat X dan Z dapat diterima.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. 2000. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS: 3rd Edition*. New York: McGraw Hill.
- [2] Handayani, H.H., Yuwono, Taufik.M., 2015, *Preliminary Study of Bridge Deformation Monitoring Using GPS and CRP (Case Study: Suramadu Bridge)*, Procedia Environmental Sciences Vol.24 pp.266-276, Elsevier.
- [3] Mulia, D., Handayani H.H., 2014, Studi Fotogrametri Jarak Dekat dalam Pemodelan 3D dan Analisis Volume Objek, Jurnal Geoid Vol.10 No.1 hal.32-39.
- [4] Atkinson, K. B. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland : Whittles Publishing.
- [5] Schenk, T. 1999. *Digital Photogrammetry Volume 1*. TerraScience. The Ohio State University.