

ANALISIS HASIL PEMODELAN 3D PADA FITUR KAMERA HANDPHONE I-PHONE 7 PLUS DAN SAMSUNG GALAXY S9 PLUS

Ridho Briyan Noviandyka¹, M.Edwin Tjahjadi,S.T,M.Geom.Sc., Ph.D², Adkha Yuliananda M. S.T.,MT³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

^{2,3}Dosen Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

Malang, Indonesia

E-mail : noviandyka@gmail.com

Abstraksi

Pemodelan 3D dapat memberikan manfaat seperti dokumentasi, inventarisasi suatu objek, perhitungan volume, analisis objek, dan masih banyak lainnya. Penelitian ini memberikan media alternatif dalam pembuatan model tiga dimensi yang dapat mengefisienkan dari segi biaya namun ketelitian yang dihasilkan masih dalam batas toleransi pekerjaan. Media alternatif yang digunakan dalam pengambilan data sangatlah bervariasi, salah satunya adalah fitur kamera pada *handphone*.

Penelitian ini dilakukan pada pemodelan objek kubus berukuran 40 x 40 x 40 *centimeter* dengan menggunakan kamera *handphone I-Phone 7 Plus* dan kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus*. Pengolahan foto menggunakan *software* aplikasi *Agisoft PhotoScan Professional 64 Bit*.

Pada kamera *handphone I-Phone 7 Plus* menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,92 milimeter, sedangkan pada model 3 Dimensi yang dihasilkan dari pengambilan foto menggunakan *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* sebesar 1,36 milimeter. Ketelitian jarak dipengaruhi oleh ukuran sensor pada kamera tersebut.

Keywords : Pemodelan, 3D, RMSE, *handphone*

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi sekarang ini semakin canggih dan membuat masyarakat Indonesia terbantu dalam kemajuan teknologi ini. Perkembangan teknologi sekarang yang multifungsi sangat membantu masyarakat Indonesia dalam berbagai hal seperti tukar menukar informasi, dokumentasi, dan masih banyak kegunaan lainnya. *Handphone* merupakan salah satu contoh nyata teknologi yang dulunya dibuat untuk komunikasi, namun seiring berkembangnya waktu banyak perubahan dan penambahan fitur-fitur pada *handphone* yang dapat digunakan masyarakat untuk berbagai macam kebutuhan.

Fotogrametri merupakan istilah dalam dunia geodesi sudah tidak asing lagi. Menurut Van Hove (1993) Fotogrametri adalah suatu metode atau cara untuk mengkonstruksikan bentuk, ukuran, dan posisi pada suatu benda yang berdasarkan pemotretan tunggal maupun *stereoskopik*. Fotogrametri jarak dekat merupakan salah satu penerapan fotogrametri yang digunakan untuk perekaman objek penelitian yang jaraknya kurang dari 100 meter. Metode Fotogrametri jarak dekat ini dapat dimanfaatkan untuk pemodelan 3D bangunan, objek bersejarah, dan objek penelitian. Pemodelan 3D dapat memberikan manfaat seperti dokumentasi, inventarisasi suatu objek, perhitungan volume, analisis objek, dan masih banyak lainnya. Seperti yang diketahui metode yang sudah teruji dalam pembuatan model tiga dimensi adalah metode *laser scanner*. Tetapi, *laser scanner* relatif mahal apabila digunakan dalam pembuatan model tiga dimensi. dengan objek yang diteliti relatif kecil. Tentunya dibutuhkan cara alternatif dalam

pembuatan model 3D yang dapat mengefisienkan dari segi biaya namun ketelitian yang dihasilkan masih dalam batas toleransi pekerjaan.

Media alternatif yang digunakan dalam pengambilan data sangatlah bervariasi, salah satunya adalah fitur kamera pada *handphone*. Namun tidak semua *handphone* menghasilkan data yang bagus, Oleh karena itu penulis menganalisa hasil pemodelan 3D pada dua fitur kamera yang dimiliki oleh dua *handphone* yang berbeda yang mempunyai resolusi *megapixels* sama. Sehingga dapat diketahui media alternatif yang bisa digunakan dalam pemodelan 3D pada fitur kamera dari dua *handphone*. Dalam hal ini media yang diteliti adalah fitur kamera yang terdapat pada kamera *I-Phone 7 Plus* dan *Samsung Galaxy S9 Plus*.

I.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana melakukan pemodelan 3D menggunakan *Agisoft PhotoScan Professional (64 bit)* dengan metode Fotogrametri Jarak Dekat ?
2. Bagaimana melakukan analisis hasil pemodelan 3D *Agisoft PhotoScan Professional (64 bit)* menggunakan fitur kamera yang terdapat pada *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* dan *handphone I-Phone 7 Plus* ?

I.3. Tujuan dan Manfaat

I.3.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah

sebagai berikut:

1. Analisis geometrik pemodelan 3D pada fitur kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* dan *handphone I-Phone 7 Plus*
2. Analisis visualisasi pemodelan 3D pada kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* dan *handphone I-Phone 7 plus* dalam pemodelan 3D.

I.3.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai kualitas hasil pemodelan 3D berdasarkan spesifikasi yang ada pada dua *handphone* yang berbeda.
2. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan alternatif teknologi pemodelan 3D yang lebih mudah dan lebih efisien untuk dapat diterapkan di masyarakat umum dengan obyek yang diteliti relatif kecil.

I.4. Batasan Masalah

Untuk menjelaskan permasalahan yang akan dibahas dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah, maka penelitian ini akan dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Data yang dianggap benar adalah pengukuran yang dilakukan dengan penggaris pada objek yang diteliti.
2. Uji kualitas data hanya membandingkan sampel jarak antar retro dan hasil visualisasi objek tiga dimensi yang diteliti.
3. Data yang diolah dan diteliti yaitu data yang dihasilkan dari fitur kamera yang terdapat pada *handphone I-phone 7 Plus* dan *Samsung Galaxy S9 Plus*.
4. Secara spesifik penelitian ini difokuskan hanya pada objek yang telah ditentukan yaitu kubus.
5. Kamera yang digunakan memiliki resolusi *megapixels* sama yaitu 12 MP.

II Dasar Teori

II.1 Pemodelan 3D

Pemodelan adalah membentuk suatu benda-benda atau objek. Membuat dan mendesain objek tersebut sehingga terlihat seperti hidup. Sesuai dengan objek dan basisnya, proses ini secara keseluruhan dikerjakan di komputer. Melalui konsep dan proses desain, keseluruhan objek bisa diperlihatkan secara 3 dimensi, sehingga banyak yang menyebut hasil ini sebagai pemodelan 3 dimensi (3D *modelling*) (Nalwan, 1998).

Pemodelan 3D merupakan prosedur pembuatan model 3D. Prosedur ini merupakan bagian dari proses menciptakan bentuk model 3D yang dapat mewakili keseluruhan objek yang diteliti. Sebuah model 3D dibuat dari proses penghubungan titik-titik dalam ruang 3D dengan berbagai data geometris seperti contohnya garis, bidang datar, maupun bidang lengkung yang membentuk model 3 dimensi.

Menurut Maya (2018) model 3D dibuat dengan menggunakan 4 metode populer yaitu :

1. *Primitives modeling* (pemodelan primitif). Metode yang paling sederhana untuk pemodelan tiga dimensi adalah dengan menggunakan objek primitif. Metode ini menggunakan objek geometris primitif seperti silinder, kerucut, kubus dan bola. Model yang kompleks diciptakan dengan cara menggabungkan berbagai objek primitif tadi sehingga menghasilkan bentuk sesuai dengan yang diinginkan. Pemodelan primitif digunakan terutama dalam mengembangkan model 3D pada aplikasi teknis, misalnya dalam pemodelan arsitektur, desain interior, mesin, konstruksi bangunan, dan sebagainya.
2. *Polygonal modeling* (pemodelan poligonal). Banyak model 3D yang dibuat dengan menggunakan metode poligonal model bertekstur. Pemodelan poligonal adalah metode untuk menciptakan model 3D dengan menghubungkan segmen garis melalui titik-titik dalam ruang 3D. Titik-titik dalam ruang juga dikenal sebagai vertex/vertices (simpul).
3. Model poligonal sangat fleksibel dan dapat ditampilkan oleh komputer dengan sangat cepat. Kekurangannya *polygonal modeling* adalah tidak dapat membuat permukaan melengkung secara akurat sesuai dengan ukuran geometris yang tepat. Permukaan melengkung biasanya dibentuk melalui metode penghalusan (*smoothing*) yang dibentuk dari satu garis ke garis lainnya, atau dari satu poligon ke poligon lainnya. Oleh karena itu, *polygonal modeling* biasa dipergunakan untuk membuat model-model 3D objek non geometris, seperti pada pemodelan karakter atau *character modeling*, kartun, makhluk hidup, dan lain-lain.
4. NURBS. Merupakan singkatan dari Non-Uniform Rational B-Spline, salah satu metode pemodelan yang menggunakan garis melengkung halus sebagai dasar dari pembentukan objek 3D. NURBS modeling dapat ditemukan dalam perangkat lunak populer seperti Maya, 3DS MAX. Pengembang dapat membuat permukaan-halus pada model 3D dengan menggunakan teknik pemodelan ini. Tidak seperti teknik pemodelan poligonal yang dapat menghasilkan permukaan melengkung melalui perkiraan menggunakan poligon banyak, pemodelan NURBS benar-benar menciptakan permukaan melengkung halus melalui garis lengkung (Spline) secara akurat. Oleh karena itu, NURBS modeling biasa dipergunakan untuk pembuatan model-model 3D objek geometris dengan tingkat keakuratan tinggi, misalnya pada pemodelan pesawat, mobil, dan lain-lain.
5. *Patch modelling*. Metode ini hampir mirip atau serupa dengan prosedur pemodelan NURBS. Model 3D dibuat dengan

menggunakan garis-garis lengkung untuk mengidentifikasi permukaan yang terlihat. Pada Patch modeling, objek 3D akan tersusun atas permukaan-permukaan berbentuk segitiga atau segiempat yang saling berhubungan.

II.2 Fotogrametri

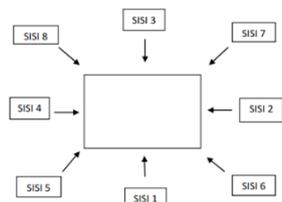
Fotogrametri adalah seni dan ilmu pengetahuan untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya mengenai permukaan beserta obyeknya tanpa melakukan kontak fisik. Fotogrametri juga meliputi pengukuran dan interpretasi dari informasi yang diperoleh (Schenk, 2005).

Jenis-jenis fotogrametri bisa dikategorikan menjadi beberapa cara (Luhmann dkk, 2006):

1. Berdasarkan posisi kamera dan jarak obyek (Luhmann dkk, 2006):
 - a. Fotogrametri satelit; menghasilkan citra satelit, dengan ketinggian lebih dari ± 200 km.
 - b. Fotogrametri udara; menghasilkan citra udara, dengan ketinggian lebih dari ± 300 meter.
 - c. Fotogrametri terestris; pengukuran dari lokasi terestris yang ditetapkan.
 - d. Fotogrametri jarak dekat; jarak pengukuran kurang dari ± 300 meter.
 - e. Fotogrametri makro; skala citra > 1 (pengukuran mikroskop)
2. Berdasarkan jumlah citra yang terukur (Luhmann dkk, 2006):
 - a. Fotogrametri citra tunggal; proses citra tunggal, mono-plotting, rektifikasi, ortofotografi.
 - b. Stereofotogrametri; proses citra ganda, pengukuran stereoskopik.
 - c. Fotogrametri citra-banyak; citra lebih dari dua, triangulasi berkas.
3. Berdasarkan metode perekaman dan pemrosesan (Luhmann dkk, 2006):
 - a. Fotogrametri bidang datar.
 - b. Fotogrametri analog; kamera analog, sistem pengukuran opto-mekanis.
 - c. Fotogrametri analisis; citra analog yang terkontrol oleh komputer.
 - d. Fotogrametri digital; citra digital yang terkontrol oleh komputer.
 - e. Videogrametri; akuisisi citra digital dan pengukuran.
 - f. Fotogrametri panorama; pemrosesan data citra panorama.
 - g. Fotogrametri garis; berdasarkan garis lurus dan polynomial.
4. Berdasarkan keadaan dari hasil pengukuran (Luhmann dkk, 2006):
 - a. Fotogrametri real-time; merekam dan pengukuran diselesaikan dalam periode waktu tertentu yang ditentukan sesuai dengan kegunaan.
 - b. Fotogrametri off-line; bersambung, perekaman citra digital, waktu atau lokasi dari pengukuran terpisah.
 - c. Fotogrametri on-line; simultan, berkali-kali, perekaman citra digital, pengukuran langsung.
5. Berdasarkan aplikasi atau bidang yang khusus (Luhmann dkk, 2006):
 - a. Fotogrametri arsitektur; arsitektur, konservasi situs budaya, arkaeologi.
 - b. Fotogrametri engineering; aplikasi pada bidang konstruksi.
 - c. Fotogrametri industrial; aplikasi pada manufaktur.
 - d. Fotogrametri forensik; diaplikasikan pada permasalahan hukum.
 - e. Biostereometrik; aplikasi pada bidang medis.
 - f. Motografi; merekam jejak benda yang bergerak.
 - g. Fotogrametri multi-media; mereka melalui media dari indeks bias yang berbeda.
 - h. Bentuk dari stereo; proses citra stereo (computer vision).

Tujuan fotogrametri yaitu membangun hubungan geometrik antara suatu obyek dengan sebuah citra dan mengekstrak informasi objek secara teliti. Oleh karena itu, pemahaman mengenai azas fotogrametri sangat diperlukan karena azas fotogrametri sangat penting dalam menginterpretasi foto. Karena, azas tersebut menjadi dasar untuk penghitungan kenampakan medan hasil interpretasi dalam kaitannya dengan lokasi dan bentangannya (Hadi, 2007).

Proses penentuan titik *referencing* bisa menggunakan berbagai cara, salah satunya dengan



pemasangan retro. Sebelum dilakukan pengambilan gambar, perlu pemasangan retro. Retro ini menyebar pada permukaan objek yang akan dipotret sehingga dapat terlihat di foto yang satu dan lainnya. Sehingga dalam proses pengambilan data atau proses pemotretan objek, titik titik retro akan dijadikan untuk referencing dalam pemodelan 3D. Berikut proses pengambilan data dari berbagai sisi.

Gambar 2.6. Proses pengambilan data

II.3 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri jarak dekat adalah teknologi fotogrametri untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan intrepetasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam dengan kamera yang terletak di permukaan bumi (terestris). Istilah fotogrametri jarak dekat pada umumnya digunakan untuk foto terestrial yang mempunyai jarak objek sampai dengan 300 meter (Wolf dkk,2014). Dalam bidang geodesi,

metode fotogrametri jarak dekat ini banyak dimanfaatkan karena dapat memberikan informasi jarak, luas, volume. Dari hasil pengukuran dengan metode fotogrametri jarak dekat dapat diperoleh koordinat tiga dimensi dalam sistem foto. Untuk itu agar dapat dibandingkan dengan koordinat yang sebenarnya maka harus dilakukan transformasi ke sistem koordinat tanah.

Fotogrametri jarak dekat banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang non topografi karena memiliki banyak keunggulan. Aplikasi yang berkembang antara lain dalam bidang arsitektur, arkeologi, forensik, medis, deformasi, industri dan lainnya. Beberapa kelebihan dari fotogrametri jarak dekat adalah :

1. Tidak melakukan kontak langsung terhadap obyek selama pengukuran sehingga dapat digunakan untuk mengukur obyek yang sulit diakses (Thompson 1962 dalam Atkinson 1996).
2. Akuisisi data dapat dilakukan dengan cepat dan dapat digunakan untuk memroses terkait dengan ukuran obyek (Atkinson 1996).
3. Dapat digunakan untuk mengukur obyek yang relatif kecil dan atau tidak beraturan (Thompson 1962 dalam Atkinson 1996).
4. Memiliki nilai yang ekonomis terutama untuk pengukuran obyek yang sifatnya kompleks.
5. Foto adalah dokumen yang terkait dengan waktu dan dapat disimpan dalam format digital sehingga dapat dipakai jika sewaktu-waktu dibutuhkan.
6. Evaluasi dari foto dapat dilakukan kapanpun di laboratorium. Pengulangan pemotretan dan penambahan selalu bisa dilakukan dan bisa dioptimalkan menurut permintaan pengguna (Trieb,dkk 2004).

Namun di samping kelebihan, juga ada beberapa kelemahan dari fotogrametri jarak dekat, yaitu (Leitch 2002 dalam Hanifa 2007) :

1. Hasil ukuran tidak dapat diperoleh secara langsung.
2. Membutuhkan teknik yang kompleks dan kurang praktis jika diaplikasikan untuk analisis yang relatif kecil (Trieb, dkk 2004).
3. Teknik fotogrametri akan terbatas pada area cakupannya, sehingga ada kemungkinan tidak mencakup seluruh area yang akan difoto (Trieb, dkk 2004).
4. Kebutuhan akan spesialisasi dan peralatan pendukung yang mahal dapat membuat harga operasionalnya menjadi tinggi dalam implementasi (Trieb, dkk 2004).

Kesalahan yang terjadi pada saat pengambilan dan pemrosesan foto dapat mempengaruhi ketelitian hasil.

II.4 Kamera

Dalam fotogrametri kamera merupakan salah

satu instrumen paling penting, karena kamera digunakan untuk membuat foto yang merupakan alat utama dalam foto grametri. Olehkarena itu dapat dikatakan pula bahwa foto yang akurat (mempunyai kualitas geometri yang tinggi) diperoleh dari kamera yang teliti. Baik untuk keperluan foto udara maupun foto terestrial, kamera diklasifikasikan menjadi dua kategori umum yaitu :

1. Kamera metrik

Kamera metrik merupakan kamera yang dirancang khusus untuk keperluan fotogrametri. Kamera metrik yang umum digunakan mempunyai ukuran format 23cm × 23cm, kamera metrik dibuat stabil dan dikalibrasi secara menyeluruh. Nilai-nilai kalibrasi dari kamera metrik seperti panjang fokus, distorsi radial lensa, koordinat titik utama foto diketahui dan dapat digunakan untuk periode yang lama. Untuk kamera metrik berformat normal dikenal tiga sudut bukaan (*angle field of view*), yakni: (Dipokusumo, 1999)

- a. Normal angle (NA), dengan panjang fokus 210mm,
- b. Wide Angle (WA), dengan panjang fokus 152mm, dan
- c. Super Wide Angle, dengan panjang fokus 88mm.

Sebagian besar kamera metrik biasanya dirancang dengan panjang fokus tetap untuk objek tak terhingga. Jika kamera metrik diterapkan untuk foto terestrial (pemotretan pada jarak pendek) tidak dapat menghasilkan gambar yang tajam. Sehingga diperlukan modifikasi khusus pada panjang fokusnya agar diperoleh gambar yang tajam pada saat melakukan pemotretan pada jarak yang sangat pendek.

2. Kamera non metrik

Kamera non-metrik dirancang untuk foto profesional maupun pemula, dimana kualitas lebih diutamakan daripada kualitas geometrinya. Kamera non-metrik memiliki dua keterbatasan utama yaitu :

a. Ketidakstabilan geometrik

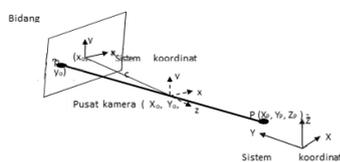
Masalah terbesar penggunaan kamera non-metrik adalah ketidakstabilan geometrik. Kamera non-metrik memiliki lensa yang tidak sempurna, sehingga foto udara yang dihasilkan dari perekaman kamera non-metrik mengalami kesalahan. Kamera ini tidak memiliki tanda-tanda fidusial, namun dapat dilakukan modifikasi untuk membuat tanda fidusial. Selain itu pada kamera non-metrik tidak diketahui secara pasti besarnya panjang fokus dan posisi *principal point*, sehingga pengukuran pada foto udara menjadi kurang teliti. Kamera non-metrik dapat dikalibrasi dengan teknik tertentu sehingga parameter-parameter internal yang berpengaruh pada ketelitian geometrik foto dapat diketahui, dan kamera non-metrik dapat digunakan untuk aplikasi fotogrametri. Pada pembuatan kamera non metric tidak ada spesifikasi untuk menyelaraskan elemen lensa secara presisi sehingga harus dilakukan kalibrasi untuk menghilangkan kesalahan sistematis dan mendapatkan hasil yang baik berbagai terapan fotogrametri terestrial (Tjahjadi dkk, 2019)

b. Ukuran film

Keterbatasan lain dalam penggunaan kamera non-metrik adalah terbatasnya ukuran film. Untuk mengcover area dengan luas dan skala yang sama, penggunaan kamera format kecil 24mm×36mm membutuhkan jumlah foto lebih banyak dibandingkan jika pemotretan itu dilakukan dengan menggunakan kamera metrik format besar 23 cm × 23cm. Selain itu seringkali dalam pemetaan metode foto udara dibutuhkan foto dengan ukuran asli yang besar, sehingga penggunaan kamera format kecil menjadi masalah. Penggunaan foto udara metrik format besar (23cm × 23cm) akan mampu memberikan ketelitian yang baik, akan tetapi untuk area pemetaan yang relatif kecil dipandang tidak ekonomis. Pertimbangan penggunaan kamera non-metrik untuk keperluan pemetaan (foto udara) adalah adanya efisiensi biaya pemetaan untuk area yang relatif kecil.

II.5 Koreksi Geometrik

Pemotretan pada pekerjaan fotogrametri dilakukan dengan merekam bayangan objek yang terbentuk di bidang bayangan dalam suatu media. Media yang dipergunakan dalam pemotretan adalah film fotografik yang terbuat dari bahan kaca atau film. Pada kamera digital, lembar film atau film digantikan oleh plat sensor fotosensitif seperti sensor tipe *solid state* seperti CCD (*Charge Couple Device*). Ketika pengambilan foto dilakukan, berkas sinar dari objek akan merambat menyerupai garis lurus menuju ke pusat lensa kamera hingga berkas sinar ini mencapai bidang proyeksi. Keadaan dimana titik obyek pada dunia nyata (*real world*), titik pusat (fokus), dan titik objek pada bidang foto terletak satu garis dalam suatu ruang dinamakan kondisi kesejarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*). Pusat dari system koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera yang dikenal dengan nama pusat perspektif (Tjahjadi dan Foury, 2017). Proyeksi sentral digunakan pada saat perekaman, di mana garis-garis proyeksi dari obyek dengan koordinat ruang P (X_p, Y_p, Z_p) ke bidang proyeksi melalui suatu titik pusat proyeksi X_o, Y_o, Z_o sehingga terbentuk posisi obyek pada sistem koordinat foto ($x_p, y_p, -c$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. berikut.



Gambar 2.7. Kondisi kolinear atau prinsip kesejarisan (Sumber: Atkinson, 1996)

Keterangan:

- X_o, Y_o, Z_o = titik pusat kamera
- $x_p, y_p, -c$ = koordinat titik P pada sistem koordinat foto
- X_p, Y_p, Z_p = koordinat titik P pada sistem koordinat tanah

Di dalam ASPRS (1989) dijelaskan bahwa

proyeksi sentral pada fotografi berbeda dengan proyeksi ortografi di mana proyeksi ortografi menunjukkan skala yang konstan di sepanjang garis proyeksinya, sedangkan pada fotografi menunjukkan skala yang berbeda pada setiap titik yang diproyeksikan. Skala suatu titik yang mendekati pusat proyeksi pada proyeksi sentral akan lebih besar daripada skala suatu titik yang jauh dari pusat proyeksi. Variasi skala pada foto menyebabkan kekurangtelitian pengukuran pada satu foto. Semakin besar variasi jarak obyek ke lensa kamera, semakin besar pula variasi skala yang disajikan. Hal tersebut menyebabkan kemungkinan terjadinya *relief displacement* atau pergeseran relief. Besarnya pergeseran relief bergantung pada jarak titik pada foto ke pusat proyeksi. Semakin jauh dari pusat proyeksi, semakin besar kemungkinan terjadinya pergeseran relief.

II.6 Kalibrasi Kamera

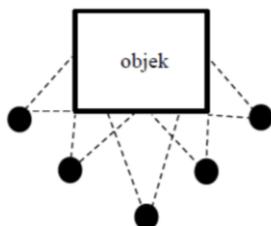
Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan berbagai metode. Secara umum kalibrasi kamera biasa dilakukan dengan tiga metode, yaitu *laboratory calibration*, *on-the-job calibration* dan *self-calibration* (Atkinson, 1987). Metode lain yang dapat digunakan antara lain *analytical plumb-line calibration* dan *stellar calibration* (Fryer, 1989). *Laboratory calibration* dilakukan di laboratorium, terpisah dengan proses pemotretan objek. Metode yang termasuk di dalamnya antara lain *optical laboratory dan test range calibration*. Secara umum metode ini sesuai untuk kamera jenis metrik. *On-the-job calibration* merupakan teknik penentuan parameter kalibrasi lensa dan kamera dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan pemotretan objek. Pada *self-calibration* pengukuran titik-titik target pada objek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik objek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera.

Kamera fotogrametri tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi kamera adalah proses untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera. Parameter intrinsik meliputi geometri internal kamera dan parameter optik seperti *focal length*, koefisien distorsi lensa, faktor-faktor skala yang tidak dapat diestimasi dan koordinat origin gambar pada komputer. Parameter ekstrinsik meliputi orientasi posisi kamera terhadap sistem koordinat dunia. Hal ini meliputi tiga sudut *Euler* dan tiga parameter translasi.

II.7 Konfigurasi Kamera

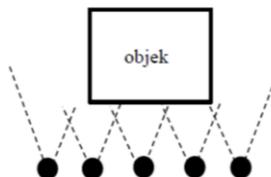
Dalam ilmu foto jarak dekat, dikenal ada dua jenis konfigurasi kamera, yaitu konvergen dan planar. Konfigurasi kamera konvergen adalah metode pengambilan gambar di sekeliling objek. Hal ini disebabkan karena konfigurasi kamera konvergen menghasilkan perbandingan base dan height/distance

yang baik.



Gambar 2.9. Konfigurasi kamera konvergen (Amiranti, 2016)

Berbeda dengan konfigurasi kamera planar yang mengambil foto dengan letak stasiun yang berada pada satu garis lurus atau paralel. Konfigurasi kamera planar menghasilkan foto yang memiliki kemiripan orientasi. Adanya kemiripan orientasi antar foto, membuat proses matching foto akan berhasil. Keberhasilan tersebut disebabkan oleh keberhasilan proses matching antar feature pada setiap area yang bertampalan.



Gambar 2.10. Konfigurasi kamera planar (Amiranti, 2016)

II.10 Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan (umumnya dikenal sebagai *PhotoScan*) adalah *software* profesional untuk fotogrametri. Perangkat lunak ini tersedia dalam versi standar dan pro, versi standar cukup untuk pekerjaan media interaktif biasa, sedangkan versi Pro dirancang untuk membuat konten peta GIS. Perangkat lunak ini dikembangkan oleh Agisoft LLC yang berlokasi di Petersburg di Rusia.

Software ini mampu menghasilkan obyek 3D dari pengolahan data foto 2D yang didapat dari pemotretan menggunakan kamera. Adapun langkah langkah dalam pembuatan 3D adalah sebagai berikut :

1. Import Foto

Import Foto adalah proses memasukkan foto hasil pemotretan yang sudah tersimpan pada *disk* untuk ditampilkan pada lembar kerja di *software Agisoft PhotoScan Professional 64 Bit*.

2. Align Foto

Align foto dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik yang terdapat pada masing masing foto dan melakukan proses *matching* titik titik yang sama pada dua foto atau lebih. Proses ini akan menghasilkan model 3D awal pengolahan foto di *Agisoft PhotoScan*. Pemasangan titik-titik GCP (*Ground Control Point*) dilakukan pada tahapan setelah proses *align* foto, yaitu pemasangan titik-titik yang sudah mempunyai koordinat sehingga nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) dapat diketahui.

3. Builds Dense Cloud

Builds Dense Cloud merupakan pengumpulan titik-titik dalam jumlah ribuan hingga jutaan dari proses pemotretan foto baik menggunakan drone atau LIDAR.

4. Build Mesh

Build Mesh merupakan pembuatan mesh untuk menghasilkan keluaran utama dari proses pengolahan pada Agisoft. Model 3D nanti akan digunakan sebagai pembuatan DEM, DSM, DTM, ataupun Orthophoto. Mesh yang lain juga dapat diekspor kedalam *software* pengolahan lain seperti, Sketcup, ArcGIS, AutoCAD, dan lainnya.

5. Builds Texture

Builds Texture merupakan pembuatan tekstur model 3D dari kenampakan yang terdapat pada area cakupan foto.

III Metodologi Penelitian

III.1. Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu di rumah kontrakan yang beralamatkan di Blok D Perumahan PNS, Jl. Joyo Agung III, Tlogomas Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur.



Gambar 3.1. Lokasi penelitian (sumber : google earth)

III.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

III.2.1 Alat

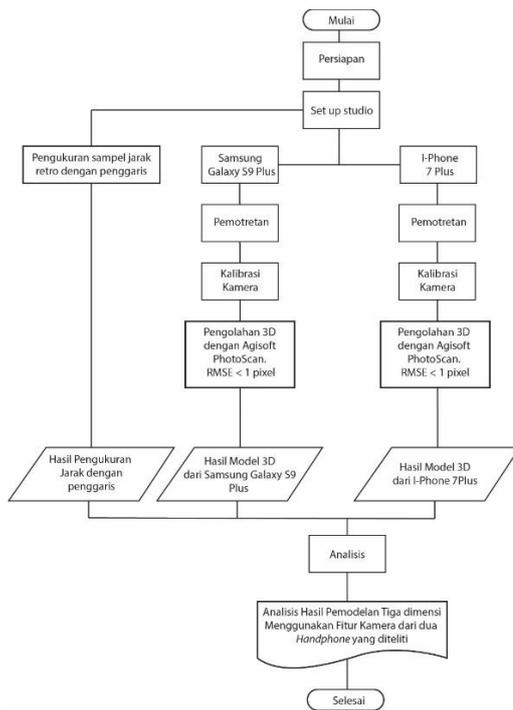
1. Kamera *handphone I-phone 7 Plus* dan *Samsung Galaxy S9 Plus*.
2. Ruang pemotret
3. Tripod kamera
4. Penggaris
5. Laptop

III.2.2 Bahan

1. Kubus Kayu
2. *Software Agisoft PhotoScan*
3. Stiker retro

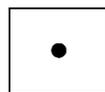
III.3 Diagram Alir

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



III.4 Pembuatan dan Pemasangan Retro

Retro merupakan sebuah tanda yang bertujuan untuk mempermudah dalam pengolahan model tiga dimensi, pada penelitian ini retro yang digunakan berupa stiker dengan bentuk persegi dengan ukuran 1,5 x 1,5 sentimeter dengan sebuah titik yang berada ditengah dengan diameter 0,5 sentimeter. Berikut merupakan ilustrasi gambar retro yang sudah dibuat.



Gambar 3.2. Desain retro

III.5 Pengukuran Sampel Jarak

Pengukuran sampel jarak antar retro dilakukan secara langsung pada retro yang sudah terpasang, pengukuran ini menggunakan penggaris. Data ukuran ini digunakan untuk mencari ketelitian model tiga dimensi yang sudah diolah. Proses pengukuran jarak langsung bisa dilihat pada gambar 3.4.



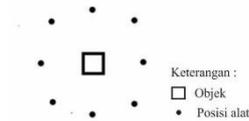
Gambar 3.4. Pengukuran jarak

Pada penelitian ini masing-masing sisi kubus di pasang 9 titik retro dengan jarak masing-masing antar retro adalah 10 sentimeter. Untuk setiap sisi retro dilakukan pengambilan sampel sebanyak 10

titik. Sehingga keseluruhan data jarak pengukuran langsung terdapat 50 titik.

III.6 Pemotretan Objek

Pemotretan objek dalam proses pengambilan data memiliki desain posisi perekaman agar dapat merekam keseluruhan objek. Desain rencana pengambilan data sebagai berikut.



Gambar 3.5. Desain pemotretan objek

Pengambilan data foto dilakukan secara konvergen yaitu dengan mengelilingi objek yang akan diteliti. Penelitian ini menggunakan konfigurasi kamera konvergen karena dapat menghasilkan perbandingan *distance* yang baik. Pada tahap ini diperoleh foto dengan format *.jpeg. Berikut gambar proses pengambilan foto dalam penelitian ini.



Gambar 3.6. Proses pengambilan data

IV Hasil Dan Pembahasan

IV.1 Analisis Geometrik Pemodelan 3 Dimensi

Penelitian ini menghasilkan 2 buah model 3 Dimensi dari dua kamera *handphone* yang berbeda. Model 3 Dimensi ini berupa *point cloud* yang tersebar rata. Model 3 Dimensi yang di hasilkan dari kedua kamera yang berbeda ini mempunyai karakteristik *point cloud* yang berbeda. Dengan pengolahan data menggunakan *software Agisoft PhotoScan Profesional 64 Bit* diperoleh data sebagai berikut.

IV.1.1 Analisis jarak

Hasil jarak dari kedua model 3 Dimensi dibandingkan dengan ukuran jarak menggunakan penggaris. Dalam hal ini ukuran yang dianggap benar adalah ukuran jarak menggunakan penggaris. Hasil perbandingan jarak sampel menggunakan penggaris, hasil dari kamera *I-Phone 7 Plus*, dan hasil dari kamera *Samsung Galaxy S9 Plus* tertera pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Perbandingan Sampel Jarak Hasil Pengolahan

Pengukuran Jarak	Objek	Hasil (cm)
Penggaris		10 cm
Kamera I-Phone 7 Plus		10,0766 cm
Kamera Samsung Galaxy S9 Plus		9,9144 cm

Dari tabel 4.1. diatas dapat diketahui selisih dari jarak ukuran penggaris dengan jarak ukuran dari model 3 dimensi menggunakan kamera *I-phone 7 Plus* adalah + 0,0766 sentimeter, sedangkan selisih jarak ukuran model 3 dimensi menggunakan kamera *Samsung Galaxy S9 Plus* adalah – 0,0856 sentimeter, sehingga dapat disimpulkan berdasarkan uji sampel jarak pada model 3 dimensi pengambilan foto dari fitur kamera *handphone I-phone 7 Plus* lebih teliti dibanding dengan kamera pada *handphone Samsung Galay S9 Plus*.

IV.1.2 Analisis Jumlah Image Matching

Dari hasil pengambilan data 45 foto dan pengolahan menggunakan *Agisoft PhotoScan Profesional 64 Bit* diperoleh pemodelan 3 Dimensi yang didapatkan jumlah *point match* pada saat proses Align foto sebagaimana tertera pada tabel IV.2. Berikut hasil analisis *Image matching* pada saat pengolahan *align foto* pada software *Agisoft PhotoScan Profesional 64 Bit*.

4.2. Tabel Perbandingan jumlah *point*

Kamera	Jumlah <i>point</i>
Kamera <i>Handphone I-Phone 7 Plus</i>	25.207
Kamera <i>Handphone Samsung Galaxy S9 Plus</i>	44.230

Dari tabel 4.2. diketahui bahwa banyaknya *point cloud* yang dihasilkan dari *Samsung Galaxy S9 Plus* lebih banyak dibanding kamera yang digunakan pada *handphone I-Phone 7 Plus*. Hal ini dipengaruhi oleh *sensor size* yang ada pada dua kamera tersebut. Semakin besar *sensor size* nya semakin banyak *point* yang dihasilkan. Berikut Gambar persebaran titik hasil proses *Align* foto.

IV.1.3 Analisis Ketelitian Model

Nilai RMSE yang dihasilkan dari pengolahan data foto dengan menggunakan kamera *handphone I-Phone 7 Plus* adalah 0,92 milimeter, sedangkan nilai RMSE yang dihasilkan pada pengolahan data foto dengan menggunakan kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* adalah 1,36 milimeter. Sehingga dapat diketahui bahwa hasil model 3 dimensi menggunakan kamera *handphone I-Phone 7 Plus* mempunyai tingkat ketelitian jarak yang lebih teliti.

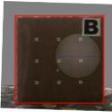
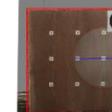
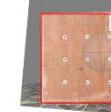
IV.2 Analisis Visualisasi Pemodelan 3 Dimensi

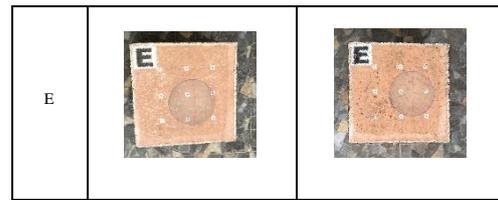
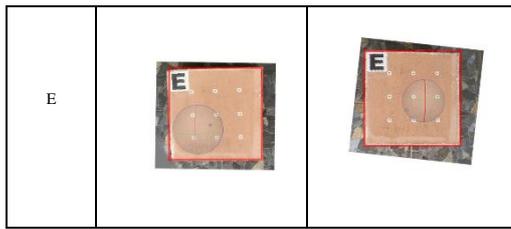
Karakteristik dari *point cloud* yang dihasilkan menjadi perhatian khusus dalam menganalisa pemodelan 3 Dimensi ini dari segi visualisasi. *Point cloud* yang mempunyai kerapatan yang baik akan menghasilkan pemodelan 3 Dimensi semakin baik juga. Pada Analisa visual ini terdapat dua cara yaitu dengan menganalisis kesesuaian bentuk dan menganalisis karakteristik dari *point cloud* yang dihasilkan.

IV.2.1 Analisis Kesesuaian Bentuk Objek

Proses analisa kesesuaian bentuk yaitu dengan cara membandingkan setiap sisi kubus dengan membentuk bidang persegi dengan sudut 90⁰. Berikut tabel hasil dari proses analisa kesesuaian bentuk model 3 Dimensi dari dua kamera yang berbeda.

Tabel 4.4. Hasil analisis kesesuaian bentuk

Sisi	Model 3 Dimensi dari kamera I-Phone 7 Plus	Model 3 Dimensi dari kamera Samsung Galaxy S9 Plus
A		
B		
C		
D		



Berdasarkan hasil analisis kesesuaian bentuk pada tabel 4.4. model 3D yang diambil dari dua kamera yang berbeda kesemuanya hampir memenuhi informasi kedetilan yang terdapat pada kubus. Namun kepresisian dari sudut setiap sisinya masih ada yang belum memenuhi sudut 90° . Model 3 dimensi yang diambil dari kamera *I-Phone 7 Plus* pada sisi C dan E jelas terlihat masih belum sesuai dengan bidang persegi, sedangkan sisi A,B,D hampir membentuk bidang persegi. Pada model 3 Dimensi yang dihasilkan dari kamera *Samsung Galaxy S9 Plus* pada sisi B,C,D sangat terlihat ketidak sesuaiannya dibanding sisi E dan A.

IV.2.2 Analisis Karakteristik Point Clouds

Data perbandingan karakteristik *point cloud* yang dihasilkan dari kamera *handphone I-Phone 7 Plus* dan kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* tertera pada tabel 4.5 sebagai berikut.

Tabel 4.5. karakteristik point cloud

Sisi	Model 3 Dimensi dari kamera I-Phone 7 Plus	Model 3 Dimensi dari kamera Samsung Galaxy S9 Plus
A		
B		
C		
D		

Dari hasil analisis karakteristik *point cloud* yang dihasilkan pada kamera *I-Phone 7 Plus* dan kamera *Samsung Galaxy S9 Plus* terlihat warna yang dapat ditangkap hampir sesuai dengan kubus aslinya, namun rona yang dihasilkan keduanya mempunyai perbedaan. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh daya tangkap lensa untuk menangkap cahaya masuk. Daya tangkap cahaya ini dipengaruhi oleh ISO pada fitur kamera yang digunakan oleh dua kamera yang berbeda.

Texture point cloud dari kedua model 3D hampir sama, namun terdapat sisi yang kasar. Pada sisi B di kamera *I-Phone 7 Plus texture point cloud* yang dihasilkan lebih kasar dibandingkan dengan sisi A,C,D,E. begitu juga dengan model 3D pada kamera *Samsung Galaxy S9 Plus*, *texture point cloud* sisi E lebih kasar daripada sisi A,B,C,D. Hal ini dipengaruhi oleh pengambilan gambar yang kurang mencakup sisi tersebut.

V Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Secara keseluruhan dari proses pembuatan model 3 Dimensi menggunakan fitur kamera *handphone I-Phone 7 Plus* dan kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* adalah sebagai berikut :

1. Proses pengolahan data foto sebanyak 45 foto pada setiap kamera *handphone* yang diteliti menghasilkan jumlah *point matching* yang berbeda pada saat proses *align* foto. Kamera *handphone I-Phone 7 Plus* menghasilkan jumlah *point matching* sebanyak 25.207 titik, sedangkan kamera *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* menghasilkan jumlah *point matching* sebanyak 44.230 titik. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran *sensor size*.
2. Kualitas geometri yang dihasilkan dari pemodelan 3 Dimensi dua kamera yang berbeda ini dinilai dari uji RMSE jarak. Pada kamera *handphone I-Phone 7 Plus* menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,92 milimeter, sedangkan pada model 3 Dimensi yang dihasilkan dari pengambilan foto menggunakan *handphone Samsung Galaxy S9 Plus* sebesar 1,36 milimeter. Ketelitian jarak ini dipengaruhi oleh *sensor size* pada kamera tersebut.

Dalam pemodelan 3 dimensi untuk keperluan inventarisasi, dokumentasi objek dengan ukuran kurang dari 1 meter dengan jarak pemotretan 1,5 meter. Kedua kamera *handphone* ini dapat dijadikan media alternatif pengganti TLS (*Terrestrial Laser Scanner*). Hal ini dilihat dari hasil analisis ketelitian jaraknya.

V.2. Saran

Dalam proses penelitian ini tidak sepenuhnya sempurna, masih banyak hal-hal yang kurang yang tidak sesuai dengan perencanaan yang sudah direncanakan. Oleh karena itu berdasarkan penelitian ini terdapat saran apabila kajian ini akan dikembangkan ataupun dijadikan langkah dalam menganalisis pada fitur kamera yang lain, yaitu :

1. Yang perlu diperhatikan dalam pengambilan data foto adalah mengenai akuisisi data, pengambilan foto menggunakan *tripot* sangat disarankan dalam memperoleh kualitas foto yang tajam dan tidak disarankan untuk pengambilan foto menggunakan *freehand*.
2. Ukuran retro harus disesuaikan dengan jarak pemotretan, sehingga dalam pengolahan data, retro dapat teridentifikasi dengan baik.
3. Objek untuk dijadikan penelitian dapat di tingkatkan sehingga keakuratan dan kepresisian dalam proses analisis memperoleh hasil maksimal.

Data penelitian ini dapat dikembangkan dalam menganalisis intensitas cahaya yang dapat ditangkap oleh dua kamera yang berbeda ini dengan ISO yang digunakan oleh kedua kamera berdasarkan spesifikasi dari kamera ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, R. 2005. Pembuatan Peta Foto Dengan Metode Mosaik Semi Terkontrol Menggunakan Foto Udara Format Kecil Non Metrik. Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Alexander A., Erwin, Widodo B., (2017), *Pengembangan sistem klasifikasi ukuran Pakaian menggunakan metode body Measurement dan fuzzy logic berbasis Sensor Kinect*, *Journal of Computer Science and Information Systems*, Bina Nusantara University, Jakarta.
- Allard, P. H., & Lavoie, J. A. (2014). *Differentiation of 3D scanners and their positioning method when applied to pipeline integrity. CREAFORM.*
- Andaru R., (2010), *Kombinasi Data Laser Scanning dan Fotogrametri Digital untuk Pemodelan Tiga Dimensi Candi Borobudur*, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Anonim, TT, *Laser Scanner Fotogrametri*, Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan , Direktorat Jendral Kebudayaan, Balai Konservasi Candi Borobudur, URL: <http://www.konservasiborobudur.org/fasilitas.html>
- Atkinson, K. B., (1996), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing. Soctland.
- Atkinson. K.B. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Atkinson. 2000. *Theory of Close Range Photogrammetry*, Ch.2 *Coordinate Transformations*.<http://www.lems.brown.edu/vision/people/leymarie/Refs/Photogrammetry/General.html>
- Aristia N., (2014), *Pemodelan 3D Kawasan Cagar Budaya Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi data Foto Terestris dan Foto Udara (studi Kasus Kawasan Candi Sambisari-Yogyakarta)*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Asbintar, S.P., (2016), *Kajian Keandalan Depth Camera untuk Membuat Model Candi dan Kawasan Sekitarnya*, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Cooper, M, & Robson, S., 1996, "Theory of Close Range Photogrammetry", Dalam Inrariansi, N, 2010, "Skripsi Studi Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Secara Terrestrial Dan Aerial Menggunakan Pesawat Remote Control", Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat.
- Cooper, M.A.R., dan S. Robson. *Theory of Close Range Photogrammetry*. Dalam *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, oleh K.B. Atkinson. Scotland: Whittles Publishing, 1996.
- Dipokusumo, B.S., 2001. *Pengantar Fotogrametri*. Bandung : Departemen Teknik Geodesi ITB.
- Fryer, J.G. "Camera Calibration for Non Topographic Photogrammetry." Dalam *Non Topographic Photogrammetry*, oleh H.M. Karara. ASPRS, 1989.
- Gilang, A. 2009. *Analisis Geometri Data Objek Tiga Dimensi Menggunakan Fotogrametri Rentang Dekat, Terrestrial Laser Scanner, Dan Electronic Total Station (ETS)*. Tugas Akhir Sarjana. Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Hadi, B. S., (2007), *Dasar-dasar Fotogrametri*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Hanifa, N.R. 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low Cost Non Metric Auto Focus Untuk pemantauan Deformasi*. Thesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- Harintaka, dkk. 2008. *Pemodelan ketidakstabilan kamera dan gerakan Pesawat pada saat*

- pemotretan Foto udara format kecil.*
Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Harintaka, 2003. *Penggunaan Persamaan Kolinier Untuk Rektifikasi Citra Satelit SPOT Secara Parsial.* Media Teknik, Edisi Mei. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Hidayat, H. 2012. *Optimalisasi image-based architectural Modeling pada googld sketchup Menggunakan kamera amatir digital Terkalibrasi.* Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Khoshelham, K., dan Elberink, S.O.,2012, *Accuracy and Resolution of Kinect Depth Data for indoor Mapping Applications, Jurnal, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, University of Twente.,* <http://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1437/htm>.
- Kusudarma, A. 2008. *Aplikasi Close Range Photogrammetry Dalam Pemetaan Bangun Rekayasa Dengan Kamera Dijital Non Metrik Terkalibrasi.* Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Tjahjadi, M E., Sai S S., dan A.Rokhmana, Catur., 2019. *Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images.* GEODETA 2019.
- Tjahjadi, M E., Handoko, F., 2017. *Single Frame Resection of Compact Digital Cameras for UAV Imagery.* Poceeding of EECSI.
- Tjahjadi, M E., 2017. *Photogrammetric Area- Based Least Square Image Matching for Surface Recontruction.* ElektriKa. Vol.01, No.0.
- Tjahjadi, M E., Handoko Fourry., 2017. *Precise wide baseline stereo image matching for compact digital cameras.* Proceeding of EECSI.
- Tjahjadi, M E., S.Sai Silvester., dan A.Rokhmana, Catur.,2017. *Novel Image Mosaicking of UAV's Imagery using Collinearity Condition.* International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). Vol.7, No.3.
- Tjahjadi, M E., S.Sai Silvester., dan A.Rokhmana, Catur.,2017. *Assesing a 35mm Fixed-Lens Sony Alpha -5100 Intrinsic Parameters Prior to, During, and Post UAV Flight Mission.* Knowledge E.
- Tjahjadi, M E., Purwanto H. Sai Silverster., 2013. *Studi Kelayakan Pemetaan Kadastral Teliti Dari Pemotretan Udara Dengan Wahana Nirawak.* FIT ISI.
- Tjahjadi, M E dan Rifaan M., *Foto Udara Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Untuk Pemodelan 3D Jalan Raya.* Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M E dan Fransiska D.A. 2018. *A Relative Rotation between Two Overlapping UAV's Images.* Proceeding of EECSI.
- Tjahjadi, M E., Sai, S S., dan Purwanto H. 2015. *Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika.* Seminar Nasional Teknologi 2015, Malang.
- Wijayanti, M. 2008. *Ujicoba Penentuan Unsur-Unsur Orientasi Dalam Kamera Digital Non-Metrik Dengan Metode Pendekatan Sederhana Studi Kasus : Kamera Nikon Coolpix 7900.* Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Wolf, P.R., 1983, *Elements of Photogrammetry,* 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, USA