

ANALISA AKURASI KINECT XBOX 360 UNTUK PEMODELAN OBJEK 3 DIMENSI

(Studi Kasus Objek Box dan Kendi)

Pragmantya, Sekunda¹. Tjahjadi M. Edwin¹, Jasmani¹

¹Jurusan Teknik Geodesi S-1 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumbersari, Kota Malang –
sekundapragmantya@gmail.com

KATA KUNCI: *Kinect Xbox 360, kualitas Point Clouds, 3D modeling, Depth camera, Uji akurasi*

ABSTRAK

Pemodelan 3D atau 3 dimensi sudah menjadi suatu kegiatan yang dibutuhkan oleh banyak bidang baik untuk penelitian, visualisasi, inventarisasi, pemeliharaan, dan pemetaan. Kajian studi di Objek Kendi dan Box Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan nilai rekomendasi alat pemindaian yang terbaik dengan efisien pembuatan pemodelan objek 3D. Penelitian ini meliputi persiapan, survei pendahuluan, pengumpulan data dengan melakukan pemindaian 3D menggunakan *depth camera* pada *Kinect* dan kamera DSLR sebagai pembanding, pemindaian objek dari jarak 1,5 m pengolahan data, analisis dan pengujian data. Dalam hal ini yang diuji adalah karakteristik hasil *point cloud* dan kualitas geometri hasil model terhadap hasil sesungguhnya. Karakteristik hasil meliputi aspek secara visual (warna dan rona, tekstur, kedetailan objek), jumlah *point clouds*, dan kerapatan *point clouds*. Kualitas geometri diuji dengan membandingkan keakurasian posisi titik *retro* pengukuran langsung dengan hasil model pengolahan dari kamera DSLR dan membandingkan dimensi pengukuran dengan dimensi yang ada pada model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemindaian 3D menggunakan *Kinect* dari jarak 1,5 m. Jarak tersebut menghasilkan kualitas model 3D dengan visual yang baik, jumlah dan kerapatan *point clouds* yang tidak terlalu banyak tetapi kedetailan objek masih bisa didapatkan dan memiliki noise pada objek fraksi milimeter tidak mempengaruhi bentuk objek. Hasil uji akurasi posisi titik yang dapat mencapai hasil uji ukuran panjang yang mencapai $RMS = \pm 2.2$ mm.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Objek tiga dimensi (3D) merupakan suatu objek yang direpresentasikan dengan ukuran panjang, lebar, dan tinggi. Data tiga dimensi sangat diperlukan untuk perencanaan, konstruksi, ataupun manajemen aset (Gilang, 2009). Pemodelan 3D atau 3 dimensi suatu objek sudah menjadi salah satu kebutuhan penting dalam banyak bidang seperti pemetaan, konstruksi, dokumentasi, dan sebagainya karena memiliki kelebihan tampilan 3D yaitu interaktif, dan representatif. Dengan diiringi pesatnya perkembangan ilmu fotogrametri dalam ilmu Geodesi, kebutuhan pemodelan tersebut semakin mudah untuk dilakukan oleh banyak orang yang menekuninya.

Metode pemindaian 3D yang memiliki tingkat kedetilan objek yang lebih tinggi dari fotogrametri jarak dekat ialah metode *range based modelling* yaitu metode *laser scanning*. Metode *laser scanning* mampu merekam kedetilan objek hingga 5000 titik/detik, namun *laser scanner* relatif mahal jika dimanfaatkan untuk memodelkan objek yang berukuran relatif kecil seperti candi (Andaru, 2010). Pada kegiatan ini digunakan metode fotogrametri jarak dekat untuk menguji akurasi *point cloud* dengan teknik *scanning* menggunakan *Kinect Xbox 360*.

Agustina (2018) Aplikasi kamera DSLR pada model 3 dimensi terbentuk enam buah model tiga dimensi dengan ketelitian yang berbeda-beda. Berdasarkan ketelitian ketelitian tersebut didapatkan rerata ketelitian. Untuk rerata absolute mean error yang dihasilkan sebesar 0,042 meter. Sedangkan untuk rerata

root mean square error yang dihasilkan sebesar 0,074 meter. Agustina (2018) Dari kegiatan pencetakan, dihasilkan replika dengan bentuk yang menyerupai dengan obyek aplikatif aslinya. Relief yang dihasilkan memiliki detail yang serupa. Meskipun begitu, warna dari replika tidak sama dengan aslinya karena menyesuaikan bahan dasar replika. Dimensi yang didapatkan dari replika memiliki skala 1:12 jika dibandingkan dengan obyek aplikatifnya. Sehingga parameter dari kamera DSLR pembanding dari alat *Kinect Xbox* untuk uji ketelitian *point cloud*. Pada kegiatan ini hasil kamera DSLR menjadi sebagai pembanding ketelitian jarak *point cloud* yang dianggap lebih teliti karena pernah diuji akan dibandingkan ketelitian *point cloud* dari *Kinect XBOX 360*.

Pada penelitian ini dibentuk suatu model 3D dari Objek Box dan Kendi dengan memanfaatkan kamera dari *Kinect XBOX 360* sebagai alat pemindai 3D berbiaya murah. Perangkat lunak yang digunakan untuk akuisisi data untuk pemindaian 3D pada penelitian ini adalah perangkat lunak *SCENE Capture*, dilakukan pemrosesan model 3D menggunakan *Cloud Compere Stereo*. Sebagai data pembanding digunakan model 3D menggunakan kamera DSLR dengan metode *close range* perangkat lunak yang digunakan pemrosesan data menggunakan *Agisoft*. Hasil akhir dari penelitian ini yaitu model 3D dari Objek Box dan Kendi dan ketelitian *point cloud* dari model 3D tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang di atas, maka perlu dilakukan analisis terhadap permasalahan tersebut. Adapun perumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah: 1). Bagaimana kualitas *point cloud* pada perangkat Kinect XBOX 360 untuk pemindaian 3 Dimensi Objek Box dan Kendi ? 2). Bagaimana kualitas geometri 3 Dimensi yang dihasilkan kualitas *point cloud* ditinjau dari kemampuan model yang dihasilkan serta kemudahan proses data dalam pemodelan 3D Objek Box dan Kendi?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah : 1). Melakukan analisis terhadap kualitas ketelitian *point cloud* menggunakan perangkat *game* XBOX Kinect dalam pemindaian 3D dengan perbandingan pengukuran menggunakan kualitas *point cloud* model 3D menggunakan kamera *DSLR* metode (*close range*). 2). Melakukan analisis terhadap kualitas geometri yang dihasilkan *point cloud* menggunakan perangkat *game* XBOX Kinect dalam pemindaian 3D.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah : 1). Membentuk model 3 Dimensi dengan geometri yang dihasilkan oleh perangkat *game* XBOX Kinect. Model 3 Dimensi tersebut diharapkan dapat memberikan dokumentasi Objek Box dan Kendi. 2). Mengetahui kemampuan *point cloud* perangkat *game* Kinect XBOX 360 tingkat ketelitian dibandingkan kamera *DSLR* metode (*Close Range*)

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: 1). Penelitian ini membahas tentang Kualitas *point cloud* menggunakan perangkat Kinect XBOX dengan menguji jarak antar retro dibandingkan dengan hasil dari kamera *DSLR*. 2). Objek yang akan diteliti berupa Objek Box dan Kendi yang akan dilakukan pengambilan data di Ruang Sidang Lantai 2 Gedung Geodesi Kampus ITN Malang. 3). Pada bidang datar akan ditambahkan hasil ukuran menggunakan penggaris besi sebagai pembanding jarak antar *Retro* dianggap benar. 4). Tidak membahas masalah model 3 Dimensi menggunakan kamera *DSLR* metode (*close range*) hanya sebatas pembanding data. 5). Menggunakan metode pengambilan dan intensitas cahaya yang sama pada saat melakukan perekaman menggunakan Kinect Xbox maupun kamera *DSLR*. 6). Metode digunakan dalam pengambilan menggunakan jarak 1,5 meter dan tinggi alat terhadap objek sama antara Kinect dan kamera *DSLR*. 7). Pengambilan data perangkat *game* Kinect XBOX 360 dibantu software Scene Capture kemudian diolah menggunakan Cloud Compare Stereo. Pengambilan data menggunakan kamera *DSLR* akan dilakukan pengolahan menggunakan software Agisoft.

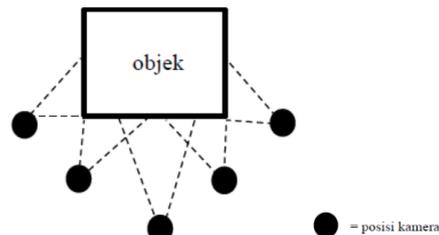
1.5. Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan Bab ini menyakikan latar belakang, lokasi, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian. 2). Bab II Dasar Teori Bab ini menyajikan tentang dasar-dasar teori yang berkaitan dan mendukung adanya penelitian. 3). Bab III Metodologi Penelitian Bab ini berisikan penjelasan mengenai sistematika pekerjaan yang digunakan untuk penyelesaian masalah, serta dilengkapi diagram alir proses pengerjaan. Bab IV Hasil dan Pembahasan Bab ini berisikan tentang hasil dan pembahasan dari pelaksanaan pengolahan data penelitian yang telah dilakukan Bab V Kesimpulan dan Saran Bab ini berisi tentang kesimpulan dari isi penelitian yang dilakukan dan saran untuk memperbaiki penelitian selanjutnya.

2. DASAR TEORI

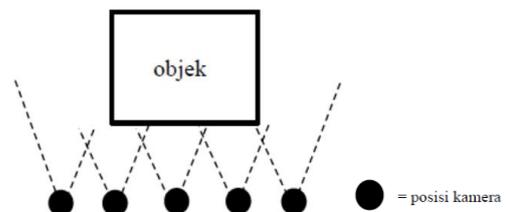
2.1 Konfigurasi Kamera

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. 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 3. Konfigurasi kamera planar (Amiranti, 2016)

2.2 Microsoft Kinect

Pada mulanya *Kinect* adalah alat pendeteksi gerakan dan suara untuk digunakan pada konsol permainan Xbox 360 dan Xbox One yang diproduksi oleh Microsoft. Pada tanggal 16 Juni 2011, Microsoft merilis *Kinect Software Development Kit (Kinect SDK)* yang dapat digunakan oleh para pengembang piranti lunak untuk mengembangkan aplikasi yang menggunakan *Kinect*. Sejak saat itu, *Kinect* banyak digunakan dalam penelitian *computer vision*. *Kinect* versi 1 memiliki beberapa fitur utama yang meliputi:

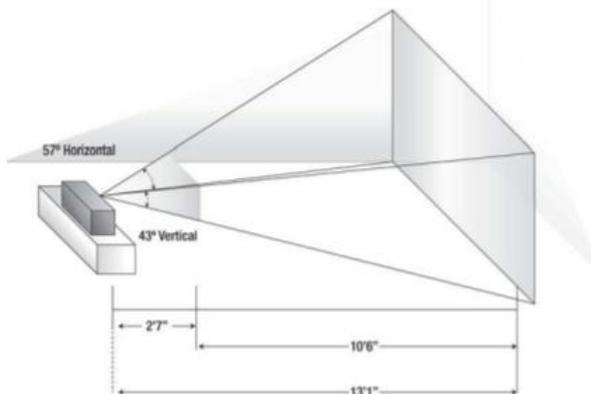
- *Raw sensor stream* yang dapat digunakan untuk mengakses informasi dari *depth sensor*, *color kamera sensor*, dan *microphone array*.
- *Skeletal tracking* yang dapat digunakan untuk mendeteksi skeleton dari pengguna yang berada dalam jangkauan jarak pandang *Kinect*.
- *Advanced audio capabilities* yang memiliki beberapa kegunaan utama seperti *effective noise suppression*, *acoustic echo cancellation*, *beamforming*, dan *source localization* (Alexander dkk, 2017)



Gambar 4. Microsoft Kinect XBOX 360

Kinect memiliki batasan-batasan penggunaan tertentu agar penggunaan sensor kamera yang ada padanya dapat bekerja secara optimum. Batasan-batasan tersebut adalah:

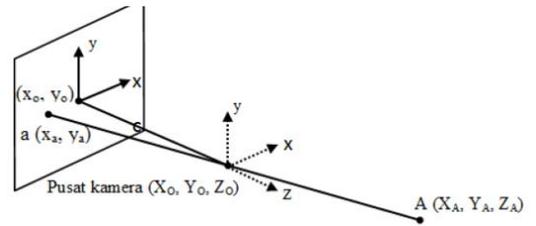
1. Sudut pandang horizontal sebesar 57 derajat.
2. Sudut pandang vertikal sebesar 43 derajat.
3. Berada pada suhu ruangan 50 sampai dengan 350 derajat Fahrenheit.
4. Jarak pengguna yang berada pada 1,2 sampai dengan 4 meter untuk *standard mode* (0,4 sampai dengan 3 meter untuk *near mode*).
5. Jangkauan *depth* yang dihasilkan berada pada jangkauan 400 mm untuk *near mode* sampai 8000 mm untuk *standard mode*.



Gambar 5. Jangkauan jarak pandang *Kinect* (Alexander, 2017)

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 sensor. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat 8 proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri (Atkinson, 1996) seperti terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 6. 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 6. X_o, Y_o, Z_o merupakan titik pusat kamera, $x_a, y_a, -c$ merupakan koordinat sebuah titik A pada system koordinat berkas, dan X_A, Y_A, Z_A merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolinearitas adalah :

$$x_a - x_o = -c \frac{r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(Z_A - Z_L) + r_{13}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)} \dots (1)$$

$$y_a - y_o = -c \frac{r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(Z_A - Z_L) + r_{23}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)} \dots (2)$$

Dimana,

X_a, Y_a : Koordinat titik A di foto

Y_o, Y_o : Koordinat titik utama

X_A, Y_A, Z_A : Koordinat titik A di permukaan bumi

X_L, Y_L, Z_L : Koordinat pusat pemotretan

C : panjang fokus kamera

R_{ij} : Elemen matrik rotasi

Elemen dari matrik rotasi diberikan pada persamaan :

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

Dimana:

$$r_{11} = \cos\omega \cos k$$

$$r_{12} = \sin\omega \sin\phi \cos k + \cos\omega \sin k$$

$$r_{13} = -\cos\omega \sin\phi \cos k + \sin\omega \sin k$$

$$\begin{aligned}
r21 &= -\cos\phi\sin\kappa \\
r22 &= -\sin\omega\sin\phi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa \\
r23 &= \cos\omega\sin\phi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa \\
r31 &= \sin\phi \\
r32 &= -\sin\omega\cos\phi \\
r33 &= \cos\omega\cos\phi
\end{aligned}$$

2.4 Space Resection

Metode reseksi ruang dengan kesegarisan adalah metode numerik untuk menyelesaikan enam parameter orientasi luar (exterior orientation). Parameter orientasi luar terdiri dari $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi,$ dan κ merupakan posisi dan orientasi kamera pada saat pemotretan. Posisi dan orientasi kamera diperlukan untuk menentukan posisi dari titik objek relatif dari sistem koordinat kamera.

2.5 Spece Intersection

Untuk mendapatkan posisi objek pada dunia nyata, maka diperlukan berkas sinar objek yang sama dari foto lainnya (Leitch, 2010). Kedua berkas sinar akan berpotongan pada objek yang sama di dunia nyata. Perpotongan ini dinamakan interseksi spasial (Atkinson, 1996). Jika terdapat titik A di lapangan yang dapat diamati dari 2 foto, maka di setiap foto akan terdapat bayangan titik tersebut. Apabila diketahui posisi kamera dan arah sumbu optiknya maka perpotongan sinar garis dari foto 1 dan foto 2 akan dapat menentukan posisi koordinat titik P tersebut (Wolf, 2000). Prinsip penentuan posisi dari perpotongan sinar ini dikenal dengan interseksi spasial.

2.6 Distorsi Foto

Foto dari hasil perekaman kamera akan mengalami distorsi. Distorsi pada foto hasil perekaman kamera terbagi menjadi 2, yaitu distorsi radian dan distorsi tangensial.

2.7 Distorsi Radial

Menurut ASP (1980) dalam Wigrata (1986) distorsi radial adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. Distorsi radial menyebabkan posisi gambar mengalami distorsi sepanjang garis radial dari titik utama. Koefisien distorsi radial memodelkan tipe dari distorsi yang dimiliki. Persamaan untuk mencari koefisien distorsi radial (k_1, k_2, k_3) adalah sebagai berikut (Zhang, 2000):

$$x_{\text{distorted}} = x (1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \dots\dots\dots(3)$$

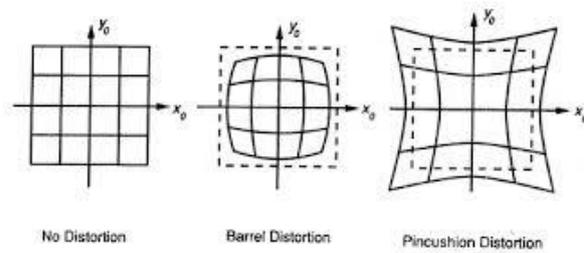
$$y_{\text{distorted}} = y (1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana,

$(x_{\text{distorted}}, y_{\text{distorted}})$ = Titik yang terdistorsi
 (x, y) = Lokasi Titik tidak terdistorsi pada koordinat foto normalisasi

K_1, k_2, k_3 = koefisien distorsi lensa
 $r^2 = x^2 + y^2$

Distorsi radial ke arah luar dianggap positif (*Barrel Distortion*) dan distorsi radial ke arah dalam dianggap negatif (*Pincushion Distortion*) seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Distorsi foto (sumber: Todor Stoyanov, 2015)

Model distorsi seperti pada Gambar 7 dapat diketahui dengan menghitung fungsi distorsi lensa $f(r)$ berdasarkan fungsi polinomial berikut (Hugemann, 2010):

$$f(r) = 1 + k_1r + 2r^2 + k_1r^3$$

Dimana $k_1, k_2,$ dan k_3 adalah koefisien distorsi radial. Sedangkan r adalah jarak radial titik pada foto terdistorsi dari titik utama (*principal point*). Keadaan dimana lensa mempunyai *barrel distortion* jika $f(r) < 1$. Sebaliknya untuk *pincushion distortion*, terjadi jika $f(r) > 1$.

Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial adalah pergeseran linear titik foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. Distorsi tangensial terjadi karena kesalahan dalam mengatur titik pusat lensa pada gabungan lensa (sentering) (Wolf, 1983). Persamaan untuk mencari koefisien distorsi tangensial (p_1, p_2) adalah sebagai berikut (Zhang, 2000):

$$x_{\text{distorted}} = x + [2p_1xy + p_2 (r^2 + 2x^2)] \dots\dots\dots(5)$$

$$y_{\text{distorted}} = y + [p_1 (r^2 + 2y^2) + 2p_2xy] \dots\dots\dots(6)$$

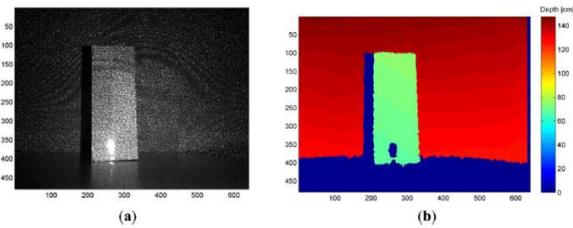
Dimana:

$(x_{\text{distorted}}, y_{\text{distorted}})$ = Titik yang terdistorsi
 (x, y) = Lokasi Titik tidak terdistorsi pada koordinat foto normalize
 K_1, k_2, k_3 = Koefisien distorsi lensa
 $r^2 = x^2 + y^2$

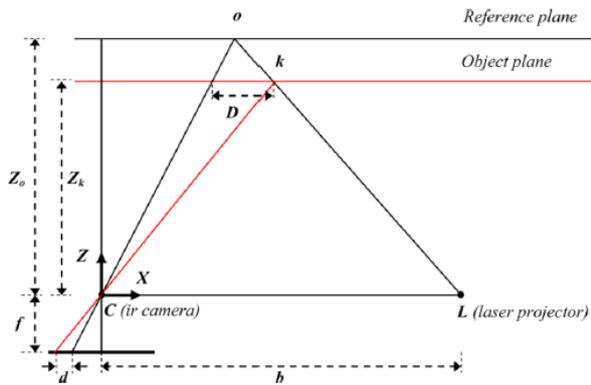
2.8 Pengukuran Geometri Kinect

Sensor pada *Kinect* terdiri dari emitor laser inframerah, kamera inframerah dan kamera RGB. Freedman (2010) dalam Khoshelham dkk (2012) menerangkan bahwa pengukuran kedalaman (*depth*) pada *Kinect* merupakan proses triangulasi. Sumber laser memancarkan sinar tunggal yang dibagi menjadi beberapa sinar oleh kisi difraksi untuk menciptakan pola yang konstan dari suatu objek yang diproyeksikan dalam sebuah bidang. Pola tersebut ditangkap oleh kamera inframerah dan berkorelasi dengan pola referensi. Pola referensi diperoleh dengan menangkap objek pada jarak yang telah diketahui oleh sensor dan disimpan dalam memori sensor. Ketika objek diproyeksikan pada objek yang jarak kesensornya lebih kecil atau lebih besar dari referensi, posisi dari objek pada gambar inframerah akan bergeser ke arah *baseline* antara proyektor laser dan pusat perspektif kamera inframerah. Pergeseran ini diukur untuk semua objek

dengan korelasi gambar sederhana yang akan menghasilkan sebuah gambar disparitas. Gambar 8 menggambarkan pengukuran kedalaman dari pola objek.



Gambar 8. Gambar inframerah dari pola *speckle* yang diproyeksikan pada *scene* yang sederhana (a), hasil *depth image* (b) (Khoshelham, 2012)



Gambar 9. Hubungan antara kedalaman (*depth*) relative dan pengukuran disparitas (perbedaan) (Khoshelham, 2012)

Dimana :

- o = Proyeksi objek pada bidang referensi
- k = Titik objek
- d = Perbedaan pengamatan
- b = Panjang dasar (*baseline*)
- D = Perpindahan dari titik *k* dalam ruang objek
- f = Panjang fokus kamera inframerah
- Z_o = Jarak kamera terhadap proyeksi objek pada bidang referensi
- Z_k = (*depth*) dari titik *k* dalam ruang objek
- X = Sumbu X kamera
- Z = Sumbu Z kamera

Pada Gambar 9 dapat dilihat hubungan antara jarak titik objek *k* ke sensor relatif terhadap bidang referensi dan diukur besar disparitas *d*. Untuk mendapatkan koordinat 3D dari titik objek perlu mempertimbangkan origin sistem koordinat *depth* dipusat perspektif kamera inframerah. Sumbu Z orthogonal terhadap bidang gambar ke arah objek, sumbu X tegak lurus terhadap sumbu Z ke arah *baseline* *b* antara pusat kamera inframerah dan proyektor laser, dan sumbu Y orthogonal terhadap sumbu X dan sumbu Z mengikuti kaedah sistem koordinat tangan kanan.

Asumsikan bahwa sebuah objek pada bidang referensi pada jarak *Z_o* ke sensor, dan *Speckle* pada objek yang di rekam pada bidang gambar dari kamera inframerah. Jika objek *k* digeser mendekati atau menjauhi sensor, lokasi dari *Speckle* pada bidang gambar akan dipindahkan ke arah X. Hal ini diukur dalam ruang gambar sebagai perbedaan sesuai dengan titik *k* dalam ruang objek. Dengan demikian berdasarkan konsep segitiga sebangun, maka didapat persamaan 7 dan persamaan 8 berikut.

$$\frac{D}{b} = \frac{Z_o - Z_k}{Z_o} \dots\dots\dots(7)$$

dan,

$$\frac{d}{f} = \frac{D}{Z_k} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

- Z_k = kedalaman (*depth*) dari titik *k* dalam ruang objek,
- b = panjang dasar (*baseline*),
- f = panjang fokus kamera inframerah,
- D = perpindahan dari titik *k* dalam ruang objek,
- d = perbedaan yang diamati dalam ruang gambar.

Substitusikan D pada persamaan 7 ke persamaan 8 maka akan diperoleh nilai Z_k berdasarkan dari variable lainnya, yaitu dengan persamaan 9 berikut:

$$Z_k = \frac{Z_o}{1 + \frac{Z_o d}{f b}} \dots\dots\dots(9)$$

dimana:

- Z_k = (*depth*) dari titik *k* dalam ruang objek ,
- Z_o = Jarak kamera terhadap proyeksi objek pada bidang referensi,
- d = perbedaan yang diamati dalam ruang gambar,
- b = panjang dasar (*baseline*),
- f = panjang fokus kamera inframerah.

Persamaan 9 merupakan dasar model matematis untuk derivasi kedalaman (*depth*) dari perbedaan yang diamati, asalkan parameter konstan Z_o, f, dan b dapat ditentukan dengan kalibrasi. Berdasarkan nilai Z dan f dapat mendefinisikan skala pencitraan pada saat itu, sehingga koordinat planimetris X dan Y dari setiap titik dapat dihitung dari koordinat citra dan skala dengan persamaan 10 dan persamaan 11 sebagai berikut :

$$X_k = -\frac{Z_k}{f} (x_k - x_o - \delta x) \dots\dots\dots(10)$$

$$Y_k = -\frac{Z_k}{f} (y_k - y_o - \delta y) \dots\dots\dots(11)$$

dimana,

x_k, y_k = koordinat citra dari titik k ,
 x_0, y_0 = koordinat titik utama (*principle point*),
 $\delta x, \delta y$ = koreksi distorsi lensa.

3. METODOLOGI PENELITIAN

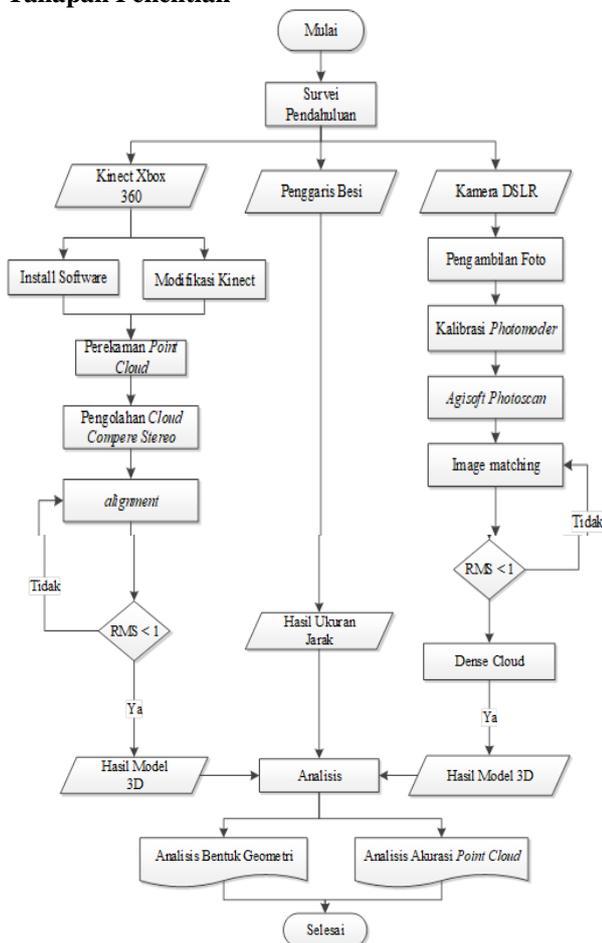
3.1 Lokasi

Kegiatan ini dilakukan pada ruang yang cukup luas dan intensitas cahaya cukup stabil sehingga dilakukan di ruang sidang lantai 2 gedung Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

sebelum penelitian dimulai terdapat beberapa persiapan dalam penelitian ini. persiapan tersebut meliputi persiapan bahan yang akan digunakan dalam penelitian dan persiapan alat yang akan digunakan dalam penelitian. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah: 1). Objek Box dan Kendi. 2). *Stiker Retro*. 3). Kertas HVS untuk pembuatan sketsa pengukuran *Retro*. Alat yang digunakan dalam penelitian ini ialah: 1). Seperangkat Kinect Sensor 2). Kinect XBOX 360,3). Nikon D3200,4). Baterai Kamera, 5). Tripod Seperangkat Laptop untuk akuisisi dan pengolahan data di studio. 6). Satu unit *Printer* untuk mencetak data dan laporan kegiatan.7). Penggaris besi. 8). Satu unit *Flashdisk 8 gigabyte* digunakan backup data.

3.3 Tahapan Penelitian



3.4 Pelaksanaan Pekerjaan

Pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai diagram alir pada gambar 3.3 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Suvei Pendahuluan

Melakukan orientasi lapangan memahami kondisi lapangan, melakukan perizinan, dan persiapan alat yang diperlukan. Studi pustaka dan referensi yang berkaitan dengan judul penelitian. Mencari jurnal-jurnal dan bahan acuan yang mendukung studi kasus.
2. Install Software
 - a. Kinect XBOX untuk pemindaian 3D memerlukan software yang diinstalasi dilaptop untuk dapat melakukan akuisisi data. penelitian ini menggunakan *software* SCENE Capture untuk pemindaian 3D.
 - b. Pengolahan *point cloud* dari Kinect XBOX untuk pemindaian 3D memerlukan *software* Cloud Compere Stereo.
 - c. Camera DSLR untuk pengolahan *point cloud* menggunakan *software* Arcgisoft.
3. Pengambilan Data
 - a. Tahapan persiapan berupa perencanaan persebaran titik *Retro*. Dilakukan penelitian dengan meletakkan *Retro* secara merata dan pada objek sehingga memudahkan untuk pengolahan *point cloud* dan pengukuran *Retro* pada model 3D.
 - b. Pengambilan data *point cloud* menggunakan Kinect XBOX dengan software SCENE Capture.
 - c. Pengambilan data *point cloud* menggunakan Camera DSLR Nikon D3200.
4. Pengolahan Data
 - a. Pengolahan *point cloud* menggunakan *software* Cloud Compere Stereo dengan menggabungkan perbagian perekaman data dibantu dengan *Retro* untuk melakukan pendekatan hingga mendapat nilai koreksi RMS < 1 piksel.
 - b. Penngolahan *point cloud* menggunakan *software* Arcgisoft dengan menggabungkan perbagian perekaman data dibantu dengan *Retro* untuk melakukan pendekatan hingga mendapat nilai koreksi RMS < 1 piksel.
5. Analisis kualitas *point cloud*
 - a. Melakukan analisis geometri pada model 3D kesesuaian dari model 3D dengan bentuk aslinya dan membandingkan dengan hasil dari bentuk model 3D dari camera DSLR Nikon D3200 dengan pengolahan software Arcgisost.
 - b. Melukan analisis ketelitian *Retro* dengan melakukan uji jarak antar *Retro* pada hasil pengolahan *point cloud* model 3D antara Cloud Compere Stereo dengan Arcgisoft. Dengan Arcgisoft sebagai nilai dianggap benar.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Jumlah Point Cloud Perekaman

Kedetilan informasi yang dihasilkan dalam pemindaian 3D tergantung dari banyak *point cloud* yang dihasilkan pada setiap perekaman. Informasi akan lebih detil jika *point cloud* perekaman 3D mempunyai jumlah yang

banyak. Hasil jumlah *point cloud* dari perekaman 3D menggunakan *Kinect* dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Jumlah *point cloud* perekaman

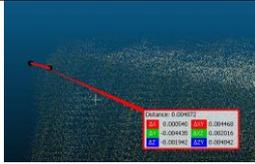
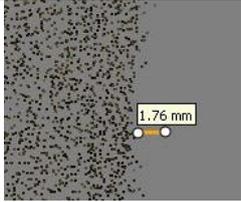
No	Alat	Jumlah <i>Point Cloud</i>
1	Kinect	2.441.760
2	Kamera DSLR	3.730.691

Jumlah keseluruhan *point cloud* dari alat *Kinect* pada tabel adalah sebesar 2.441.760 sedangkan Jumlah keseluruhan *point cloud* dari alat Kamera DSLR pada tabel adalah sebesar 3.730.691.

4.2 Analisis *Noise* pada Objek

Dari hasil *Point cloud* secara garis besar mempunyai jumlah yang sangat banyak. Setiap pengambilan data objek memiliki *Noise* atau *Point Cloud* yang tidak diinginkan. Di dalam keseluruhan perekaman 3D jika dilakukan perbesaran secara maksimal dan dilakukan pengukuran jarak antar *point cloud*, maka jarak antar *Noise* yang terbentuk memiliki jarak ke objek. Jarak antar *Noise* ke *point cloud* pada objek yang dilakukan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Jarak *Noise* pada objek

No	Alat	Jarak Pada Saat Pengukuran	Jarak Sebenarnya
1	Kinect		0,0048 meter
2	Kamera DSLR		0,0017 meter

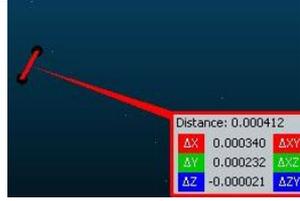
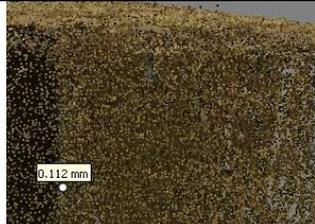
Pengukuran antar jarak *point cloud* objek dengan *noise* yang telah dilakukan menghasilkan jarak yang terjauh yaitu dalam fraksi milimeter. Pada gambar memperlihatkan bahwa hasil perekaman 3D menggunakan *Kinect* memiliki jarak terjauh 0,0048 meter. Sedangkan pada kamera DSLR memiliki *noise* terjauh 0,0017 meter. Sehingga informasi yang dihasilkan sangat detail dan dipengaruhi jumlah *point cloud* Pada gambar dapat dilihat bahwa jarak antar *point cloud* dengan *noise* yang didapatkan dari hasil

pengukuran jarak yaitu berkisar 0,0048 meter dan untuk kamera DSLR 0,0017 meter.

4.3 Analisis Kerapatan *Point Cloud* Perekaman

Jumlah *point cloud* yang dihasilkan secara garis besar mempunyai jumlah yang sangat banyak. Jumlah *point cloud* yang dihasilkan mempunyai kerapatan *point cloud* yang sangat bervariasi. Di dalam keseluruhan perekaman 3D jika dilakukan perbesaran secara maksimal dan dilakukan pengukuran jarak antar *point cloud*, maka jarak antar *point cloud* yang terbentuk tidaklah sama. Jarak antar *point cloud* yang dilakukan pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Kerapatan Jarak *Point Cloud*

No	Alat	Jarak Pada Saat Pengukuran	Jarak
1	Kinect		0,0004 meter
2	Kamera DSLR		0,0001 meter

Pengukuran antar jarak *point cloud* yang telah dilakukan menghasilkan jarak yang sangat dekat yaitu dalam fraksi milimeter. Pada gambar memperlihatkan bahwa hasil perekaman 3D menggunakan *Kinect* memiliki tingkat kerapatan yang sangat tinggi. Sedangkan pada kamera DSLR memiliki kerapatan yang lebih tinggi. Sehingga informasi yang dihasilkan sangat detail dan dipengaruhi jumlah *point cloud* Pada gambar dapat dilihat bahwa jarak antar *point cloud* yang didapatkan dari hasil pengukuran jarak yaitu berkisar 0,000412 meter dan untuk kamera DSLR 0,0001 meter.

4.4 Analisis Ketelitian Model

Jumlah jarak langsung yang akan diukur 40 jarak. Pada model juga dilakukan pengukuran jarak pada jarak yang sama dengan jarak pada pengukuran hasil model dari *Kinect* dengan software *Cloudcomapre* dan kamera DSLR menggunakan *agisoft*. Hasil dari selesai jarak langsung dengan antar model mendapatkan nilai RMSE. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

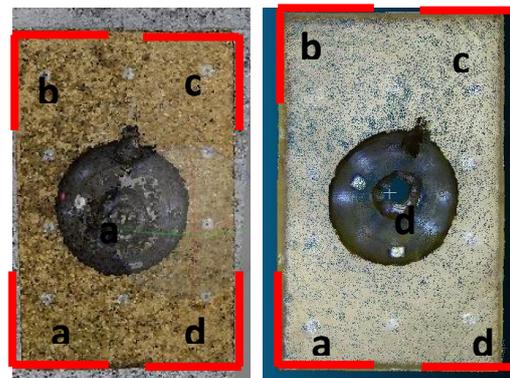
Tabel 4. Perbandingan jarak model antar 2 model pada Objek

Pengukuran Jarak (Meter)						
No	Kode	Jarak Langsung (x)	Kinect (x')	DSL R (x'')	Selisih Kinect (x-x')	Selisi h DSL R (x-x'')
1	A	0,142	0,1421	0,14	0,0001	0,002
2	B	0,182	0,1827	0,18	0,0007	0,002
3	C	0,128	0,13	0,127	0,002	0,001
4	D	0,18	0,182	0,177	0,002	0,003
5	E	0,16	0,161	0,159	0,001	0,001
..
36	AJ	0,146	0,149	0,144	0,003	0,002
37	AK	0,254	0,256	0,25	0,002	0,004
38	AL	0,067	0,07	0,062	0,003	0,004
39	AM	0,08	0,084	0,084	0,004	0,004
40	AN	0,109	0,107	0,106	0,002	0,003

Pada tabel 4.5 selisih antara jarak langsung dengan jarak pada model rata - rata dalam fraksi milimeter. Dari 40 jarak yang telah diukur menghasilkan selisih terbesar yaitu pada jarak Kinect pada kode AM yaitu 0,004 m dan pada model kamera DSLR yaitu 0,006 m. Selisih paling kecil bahkan berada dibawah fraksi milimeter pada alat Kinect di kode S yaitu 0,0007 m dan pada model kamera DSLR yaitu 0,001 m pada kode C. Dengan hasil nilai RMSE 0,0022 meter hasil Kinect sedangkan kamera DSLR 0,003 meter. Berikut merupakan garfik sampel selisih jarak point cloud.

4.5 Analisis Kedetailan Objek

Model 3D yang baik akan menghasilkan informasi yang detil. Informasi yang detil akan menghasilkan bentuk yang sesuai. Model 3D yang dihasilkan menggunakan *Kinect* harus dilakukan pengujian bentuk sehingga dapat digunakan untuk pemindaian 3D objek secara umum. Gambar 4.18 dan gambar 4.19 memperlihatkan bentuk Box dan Kendi yang telah dilakukan proses. Gambar tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 14. Kesesuaian bentuk sudut siku - siku bidang Box dan Kendi

Pada gambar 4.1 terdapat 4 sisi yaitu, sisi a, b, c dan d. Dari sisi a, b, c dan d kesesuaian bentuk model Kenct sama seperti bentuk dari kamera DSLR. Semua sisi tersebut memenuhi ketidilan informasi yang terdapat pada Box dan Kendi yaitu memenuhi bentuk siku- siku dengan ukuran sudut 90°.



(A) (B)

Gambar 15. Kesesuaian bentuk berteksture (A: Bentuk kendi dari kamera DSLR, B: Bentuk kendi dari Kinect)

Hasil pada Kinect menyerupai hasil dari kamera DSLR. Kesesuaian bentuk model 3D yang memenuhi bentuk Teksture yang bergelombang pada bentuk kendi gambar 4.2. Bentuk lekukan pada gambar a tidak memenuhi bentuk dan b pada model dapat memenuhi bentuk yang sama seperti kenampakan visual kendi, akan tetapi untuk Kinect terdapat kurangnya memenuhi bentuk pada moncong kendi disebabkan kurang rapatnya pengambilan ataupun ketika pengolahan untuk hasil kamera DSLR kurang rapatnya pengambilan sehingga *point cloud* yang dihasilkan tidak sesuai bentuk kendi.

5. PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Secara keseluruhan kegiatan pembuatan model 3D objek Box dengan Kendi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Objek Box dan Kendi yang perekaman dan pembuatan model 3D pada jarak 1,5 meter menggunakan *Kinect* dan dibantu *Cloud Compare*. Menghasilkan kualitas *point cloud* yang sangat detil dengan jumlah keseluruhan *point cloud* yaitu 2.441.760 sedangkan menggunakan kamera DSLR jumlah 3.730.691

point cloud dengan tingkat kerapatan data dalam fraksi milimeter. Untuk kerapatan *point cloud* pada alat Kinect yaitu 0,0004 meter. Sedangkan untuk jarak *Noise* pada *point cloud* objek pada Kinect yaitu 0,0048 meter. Hal ini disebabkan karena setting pada software Scenect Capture dalam pengambilan jumlah *point cloud* dan *Dense Cloud* pemrosesan medium pada Agisoft saat proses pembuatan *point cloud*.

2. Kualitas jarak geometri yang dihasilkan dengan jarak 1,5 meter dinilai berdasarkan RMSE yaitu 0,0022 m untuk model hasil dari Kinect menggunakan *Cloud compare*, sedangkan model dari kamera DSLR dengan software Agisoft 0,003 m. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan proses dan rumus untuk dijadikannya *point cloud* dalam melakukan penentuan posisi objek.
3. Dari segi bentuk visual kedetilan informasi yang didapat dari model 3D dengan jarak 1,5 meter yang terbentuk cukup baik seperti sudut siku - siku geometri bidang terbentuk dengan sempurna. Dan terbentuknya objek kendi menyerupai bentuk menyerupai hasil dari kamera DSLR.
4. Pemanfaatan *Kinect* untuk pemindaian 3D daerah yang luas sangat sulit dilakukan karena *Kinect* mempunyai keterbatasan jarak dalam pemindaian 3D. Akan tetapi sangat bermanfaat untuk mendokumentasikan Relief seperti candi ataupun objek kecil lainnya

5.2 SARAN

Penelitian yang telah dikerjakan tidak sepenuhnya sempurna. Terdapat beberapa kekurangan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Berdasarkan penelitian ini maka terdapat beberapa saran apabila kajian mengenai pemanfaatan depth camera akan dikembangkan, yaitu:

1. Pada penggunaan *Kinect XBOX 360* perlu diperhatikan dalam proses akuisisi data, sebaiknya *Kinect* diletakkan pada kondisi yang stabil. Apabila akan menggunakan dengan cara *freehand* perlu adanya gimbal atau jika menginginkan hasil yang lebih baik, *Kinect* perlu didirikan pada tempat yang benar-benar diam contohnya statif atau alat yang serupa. Agar nantinya bidang hasil pemindaian tidak berubah-ubah menjadi terotasi, tertranslasi, ataupun terskala.
2. Besaran ukuran *Retro* harus di pertimbangkan sesuai jarak pengambilan agar tidak terlalu kecil ketika pengambilan dengan jarak lebih jauh.
3. Penggunaan *kinect* dapat dilakukan untuk keperluan rekonstruksi dan restorasi terhadap objek apabila dikemudian harus terjadi perubahan pada objek yang dilakukan pemindaian 3D.
4. Penelitian berikutnya bisa dilakukan uji kesesuaian geometri dengan perbedaan jarak sehingga bisa mengetahui hasil model 3D dengan jarak terbaik. Penelitian berikutnya alat pemindai *Kinect* dapat dilanjutkan dengan memodifikasi lagi terutama

koneksi antara alat pemindai dengan laptop menggunakan nirkabel semacam *Bluetooth* atau *wifi*

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Martinus Edwin Tjahjadi, ST., MGeomSc., PhD dan Bapak Ir. Jasmani, M. Kom sebagai dosen pembimbing dalam kegiatan, Jimmy Panhar, Farid Rohman, Alfin Alfi, Muhammad Ali telah membantu dalam proses pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina D., (2018), Penerapan Teknik Fotogrametri Jarak Dekat dalam Pembuatan Model Tiga Dimensi dan Replika Relief Candi Borobudur. Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- 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.
- 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.
- Andaru R., (2010), *Kombinasi Data Laser Scanning dan Fotogrametri Digital untuk Pemodelan Tiga Dimensi Candi Borobudur*, Thesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Atkinson, K. B., (1996), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, WhittlesPublishing. Soctland.
- 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
- Faro Technologies Inc., (2015), SCENECT USER MANUAL, URL : https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/3D-app-center_downloads/e1073_SCENECT_5-2_manual_en.pdf.

- 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.
- Hendawan S., 2012, *Pengukuran Jarak Berdasarkan Ekstraksi Nilai Hue Pada Citra Depth Menggunakan Sensor Kinect*, Jurnal, Politeknik Negeri Batam, Batam.
- 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>.
- Mathe, Z., (2011), *Inside Kinect: Skeletal Tracking Deep Dive*, Microsoft Kinect Developer Summit, URL: <http://www.microsoft.com/download/en/confirmation.aspx?id=26098>
- Matthews, Neffra A.. (2008). *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology Providing Documentation, Interpretation, and Preservation*. Berau Of Land Managemen, Colorado.
- Michael, Edward and Gordon Gracie. 1981. *Analysis Adjustment of Survey Measurement*. New York : Van Nostrand Reinhold Company.
- Ord, Leslie B., (1997), *Real-time Stereo Image Matching for a Real-time Photogrammetry System*, Thesis, Philosophy, University of Aberdeen, Skotlandia.
- Pagliari D., Pinto L., (2015), *Calibration of Kinect for Xbox One and Comparison between the Two Generations of Microsoft Sensors*, Jurnal, Politecnico di Milano, Department of Civil and Environmental Engineering (DICA) Geomatic and Geodesy Section, Milan.
- Remondino, F., El-hakim, Sabry. (2006). *Image-based 3D Modelling: A review*, Jurnal. National Research Council of Canada.
- Sadewo, B. K., (2015), *Kinect Sensor Device for XBOX*, URL: <http://www.rapidform.com/products/xor/overview/>
- Schenk, T., (2005). *Introduction of Photogrammetry*. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus.
- Smisek J., Jancosek M., Pajdla T., (2011), *3D With Kinect*, CMP Dept. of Cybernetics FEE, Czech Technical University, Prague