

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan skripsi ini peneliti menggali informasi dari penelitian penelitian sebelumnya sabagai bahan perbandingan, baik mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada. Selain itu, peneliti juga menggali informasi dari buku-buku maupun skripsi dalam rangka mendapatkan suatu informasi yang ada sebelumnya tentang teori yang berkaitan dengan judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah.

1. Penelitian yang dilakukan oleh Sarkawi Jaya Harahap dan Hepi Hapsari Handayani (2016) Tentang Visualisasi 3D Objek Menggunakan Teknik Fotogrametri Jarak Dekat.
2. Penelitian yang dilakukan oleh Rahman Nurabriansyah Tentang Analisis Perbandingan Model Tiga Dimensi Benda Cagar Budaya Menggunakan Kamera DSLR dan *Zed Depth Camera*.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Moch Saini Salam (2016) Tentang Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat untuk pemodelan 3D Cagar Budaya Menggunakan Kamera Non-metrik DSLM dan DSLR

2.2. Konsep Dasar Fotogrametri

Fotogrametri adalah suatu metode pemetaan objek-objek dipermukaan bumi yang menggunakan foto sebagai media, dimana dilakukan penafsiran objek dan pengukuran geometri untuk selanjutnya dihasilkan peta garis, peta digital maupun peta foto. Secara umum fotogrametri merupakan teknologi geo-informasi dengan memanfaatkan data geo-spasial yang diperoleh dari pengamatan.

Istilah fotogrametri sering digunakan untuk mendiskripsikan proses dalam pengumpulan ukuran dari gambar fotografi. Dari definisi tersebut bisa dilihat jika dalam arti yang lebih luas, fotogrametri terdiri dari penggambaran dari obyek, pengumpulan ukuran dari gambar obyek, dan mengkonversi ukuran tersebut ke dalam bentuk yang lebih berguna untuk keperluan lainnya. Kata fotogrametri pertama kali muncul pada tahun 1867 dalam sebuah karangan yang dipublikasikan

oleh the German Meydenbauer. Definisi fotogrametri saat ini terdiri dari dua jenis yang berbeda, yaitu; fotogrametri kuantitatif yang berfokus dalam pengambilan data ukuran secara presisi untuk mendapatkan bermacam-macam bentuk informasi yang bisa didapatkan dari pengukuran data; dan yang kedua merupakan fotogrametri kualitatif yang berhubungan dengan pengenalan dan interpretasi dari obyek. Dua jenis fotogrametri ini sering juga disebut dengan fotogrametri metrik dan fotogrametri interpretif. (Ord, 1997).

2.3. Fotogrametri Jarak Dekat

Close Range Photogrametry (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. Pada teknik CRP pengukuran terhadap suatu objek biasanya dilakukan terhadap hasil perekaman dari beberapa alat sensor. Kamera dan prosedur analisis fotogrametri terestris ini dimulai pada akhir abad ke 19 oleh seorang kolonel Perancis, Laussedat (Atkinson, 1980).

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

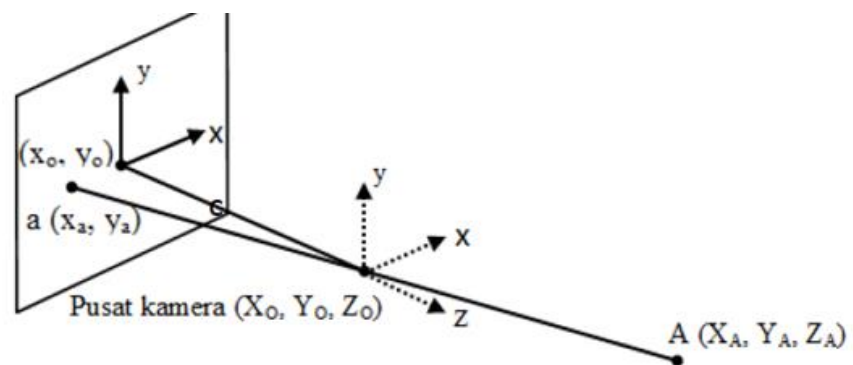
1. *Base/height ratio*;
2. Jumlah foto;
3. Jumlah titik kontrol;
4. Jumlah titik diukur di foto(*tie point*);
5. GSD pixel;
6. IOP (*internal orientation parameter*) dan EOP (*external orientation parameter*).

Teknik foto jarak dekat adalah teknik foto menggunakan kamera non-metrik, yang dapat diandalkan tingkat akurasi dan visualisasinya. Keandalan ini berdasarkan beberapa faktor, yaitu tingginya resolusi gambar yang diperoleh dari kamera SLR (*Single Lens Reflex*), rendahnya nilai distorsi radiometrik dan geometrik dari kamera dan desain jaringan kamera yang baik (Alsadikdkk, 2015).

Dari kehandalan yang telah disebutkan, teknik fotogrametri jarak dekat tidak lepas dari kekurangan yang dimiliki, antara lain hasil ukuran yang tidak dapat diperoleh secara langsung serta kesalahan yang terjadi pada saat pengambilan dan pemrosesan foto dapat menyulitkan pekerjaan.

2.4. 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 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 2.1.



Gambar 2.1 Kondisi Kolinear(Sumber: Berdasarkan Atkinson, 1996 dalam Wahab, 2009)

Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif. Titik pusat lensa kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya. Perhatikan Gambar 2.1. X_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 kolineraritas adalah :

$$x_a - x_o = -c \frac{r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(Z_A - Z_L) + r_{13}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$y_a - y_o = -c \frac{r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(Z_A - Z_L) + r_{23}(Y_A - Y_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Z_A - Z_L) + r_{33}(Y_A - Y_L)} \dots\dots\dots(2.2)$$

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

Elemendarimatrikrotasidiberikan pada persamaan :

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

Dimana,

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

2.4.1. *Space Resection*

Metode reseksi ruang dengan keseгарisan adalah metode numerik untuk menyelesaikan enam parameter orientasi luar (exterior orientation). Parameter orientasi luar terdiri dari $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi,$ 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.

2.4.2. 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.

2.5. Kamera

Kamera merupakan instrumen yang sangat penting dalam fotogrametri. Kamera ini digunakan sebagai alat perekam foto objek dalam fotogrametri. Ketelitian geometri foto yang tinggi ditentukan oleh kualitas kamera yang dipakai saat merekam objek. Dalam fotogrametri kamera diklasifikasikan menjadi dua kategori umum, yaitu:

2.5.1. Kamera metrik

Kamera metrik merupakan kamera yang dirancang khusus untuk keperluan fotogrametri. Kamera ini terkalibrasi secara menyeluruh dan stabil sebelum digunakan, yang meliputi panjang fokus, koordinat titik utama foto, distorsi radial dan distorsi tangensial lensa. Kamera metrik berformat normal dikenal dengan tiga bukaan sudut (*angle field of view*), yaitu: (Dipokusumo, 1999)

- i. *Normal Angle (NA)*, dengan panjang fokus 210 mm,
- ii. *Wide Angle (WA)*, dengan panjang fokus 152 mm, dan
- iii. *Super Wide Angle (SWA)*, dengan panjang fokus 88 mm.

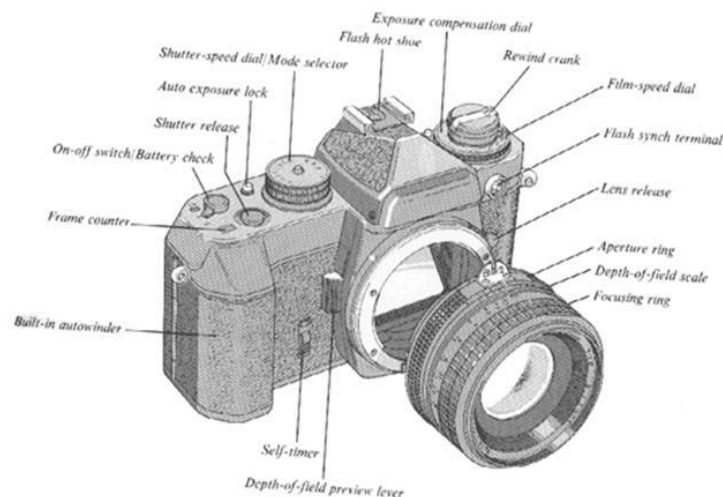
Sebagian besar kamera metrik dirancang dengan panjang fokus tetap untuk objek yang tak terhingga.

2.5.2. Kamera non-metrik

Kamera non-metrik dirancang untuk merekam foto profesional maupun pemula. Dengan kamera ini kualitas visual foto lebih diutamakan daripada kualitas geometrinya. Kamera non-metrik mempunyai dua kekurangan utama, yaitu ketidakstabilan geometrik dan ukuran film.

2.6. Kamera DSLR

Digital Single Lens Reflex (Digital SLR atau DSLR) adalah kamera digital yang menggunakan sistem cermin otomatis dan penta prisma atau penta mirror untuk meneruskan cahaya dari lensa menuju ke view finder. Berikut adalah gambaran struktur pada kamera *DSLR* (Syndicate, 2011).



Gambar 2.2. Struktur dari kamera *DSLR*

(Sumber: hilmannurfauzi.blogspot.com, 2015)

Cara kerja kamera *DSLR* dibagi menjadi tiga proses, yaitu saat membidik objek, saat memotret dan proses yang terjadi di sensor (Anonim, 2013). Berikut adalah penjelasannya:

- Saat kita mengintip di lobang *view finder* dibelakang kamera, apapun yang kelihatan disitu adalah apa yang kan menjadi hasil akhir foto. Pantulan cahaya dari obyek foto masuk melewati lensa lalu menuju cermin pantul yang kemudian memantulkan cahaya tersebut ke penta prisma. Penta prisma mengubah cahaya vertikal ke horisontal dengan mengarahkan cahaya menuju dua cermin terpisah, lalu masuk ke *view finder*.

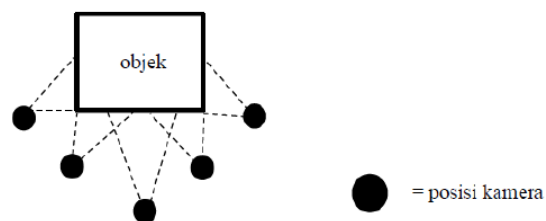
- Saat kita memotret, cermin pantul / *reflex mirror* berayun keatas dan membiarkan cahaya terus maju dengan lurus. *Shutter* kemudian membuka sehingga cahaya tadi masuk ke sensor digital. *Shutter* tetap akan terbuka selama waktu *shutter speed* yang ditentukan dan sensor akan terus merekam informasi cahaya. Kalau sudah selesai, maka *reflex mirror* akan kembali ke posisi awal sehingga cahaya dari lensa akan terpantul keatas dan kembali muncul di *view finder*.
- Proses ketiga adalah proses yang terjadi di sensor digital dimana gambar diolah oleh komputer (*processor*) didalam kamera. *Processor* akan mengambil informasi yang terekam di sensor, mengubahnya menjadi menjadi format yang sesuai lalu menuliskannya kedalam *memory card*.

Kamera *DSLR* memiliki keunggulan dalam hal ukuran sensornya yang jauh lebih besar dibanding kamera digital non-metrik biasa. Hal ini kamera ukuran sensor dibuat menyamai ukuran film analog 35mm atau yang dikenal dengan sebutan *full frame* (36x24mm). Selain memakai sensor berukuran 35mm, kamera *DSLR* juga tersedia dengan sensor yang berukuran lebih kecil. Tujuannya adalah untuk menekan biaya produksi dan membuka kesempatan memproduksi lensa khusus yang bisa dibuat lebih kecil dan dengan biaya yang lebih murah (Syndicate, 2011).

Sensor yang lebih kecil dari sensor full frame biasa disebut dengan *crop-sensor*, karena gambar yang dihasilkan tidak lagi memiliki bidang gambar yang sama dengan focal lensa yang digunakan. Hal ini biasa disebut dengan *crop factor*, dinyatakan dengan *focal length multiplier*, suatu faktor pengali yang akan membuat panjang fokus lensa yang digunakan akan terkoreksi sesuai ukuran sensor. Perkalian ini akan menaikkan panjang fokus efektif dari panjang fokus lensa yang dipakai sehingga hasil foto yang diambil dengan sensor *crop* ini akan mengalami perbesaran (*magnification*). Semakin kecil sensornya maka semakin tinggi *crop factor*-nya dan semakin besar perbesaran gambarnya.

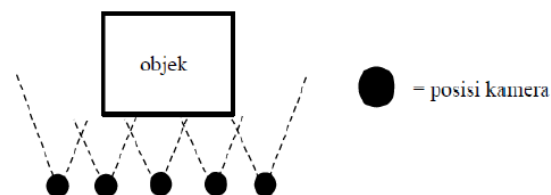
2.7. Konfigurasi Kamera

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. Pada teknik foto jarak dekat kualitas proses penentuan koordinat dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen. Hal ini disebabkan karena konfigurasi kamera konvergen menghasilkan perbandingan base dan height/distance yang baik.



Gambar 2.3 Konfigurasi kamera konvergen (Anonim, 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 2.4 Konfigurasi kamera planar(Anonim, 2016)

2.8. Kalibrasi Kamera

Kamera non-metrik tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera.

Salah satu metode yang dipakai untuk kalibrasi kamera adalah *self-calibration*. Pada *self-calibration* pengukuran titik-titik target pada objek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan koordinat titik objek dan parameter exterior orientasi dari kamera sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera (Atkinson, 1996)

Saat ini untuk *self-calibration* telah berkembang sebuah teknik yang fleksibel untuk memudahkan dalam kalibrasi kamera. Teknik ini hanya membutuhkan kamera untuk mengamati *planar pattern* dari dua atau lebih orientasi yang berbeda. Bisa dengan menggerakkan posisi kamera atau *planar pattern* untuk mendapatkan perbedaan orientasi (Zhang, 2000). Teknik ini kini diadopsi pada aplikasi Camera Calibration Apps milik Mathworks dalam perangkat lunak Matlab.

Algoritma kalibrasi yang digunakan mengasumsikan model kamera *pinhole*:

$$w \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ t \end{bmatrix} K \dots\dots\dots (2.3)$$

Dari persamaan di atas diketahui

(X,Y,Z) : koordinat di lapangan,

(x,y) : koordinat foto dimana kedudukan titik foto dalam piksel,

W : faktor skala koordinat yang sama, dan

K : matriks intrinsik kamera

Matrik K didefinisikan sebagai:

$$K = \begin{bmatrix} fx & 0 & 0 \\ s & fy & 0 \\ cx & cy & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.4)$$

Koordinat (cx,cy) merepresentasikan titik tengah optik (*optical center*) dalam piksel, s adalah *skew* parameter ketika sumbu x dan sumbu y tegak lurus, s bernilai 0, fx adalah panjang fokus lensa terhadap x piksel sedangkan fy panjang fokus lensa terhadap y piksel.

2.8.1. Interior Orientation Parameter (IOP)

Interior Orientation Parameter atau parameter orientasi dalam orientasi dalam merupakan suatu proses yang memerlukan nilai kalibrasi kamera, karena

dalam proses ini akan terjadi koreksi pada kesalahan akibat distorsi kamera dan kesalahan lain pada kamera. Nilai kalibrasi kamera atau disebut parameter kalibrasi tersebut adalah *principal distance* (c), yaitu pergeseran titik pusat sesungguhnya dengan titik pusat pada foto, titik pusat fidusial foto (x_0, y_0), distorsi lensa (K_1, K_2, K_3, P_1 and P_2), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y (b_1, b_2) (Fraser dan Kenneth, 2000).

2.8.2. Relative Orientation

Relative orientation atau orientasi relatif adalah suatu proses menentukan elemen EOP (*Exterior Orientation Parameter*) pada kamera. Dalam orientasi relatif, suatu foto akan dihubungkan dengan foto lain, sehingga akan tersusun posisi foto yang kondisinya sama seperti saat pemotretan. Setelah foto memiliki kondisi yang sama

seperti saat pemotretan, maka foto yang saling bertampalan dapat dibuat model tiga dimensinya. Proses ini dilakukan dengan menentukan titik pada masing-masing foto, dimana setiap titik pada model merupakan perpotongan kedua arah berkas sinar dari sepasang foto. Apabila perpotongan berkas sinar dari sepasang foto tepat pada objek, maka model akan nampak tiga dimensi.

2.8.3. Absolute Orientation

Absolute orientation atau orientasi absolut adalah suatu proses pengikatan sistem koordinat model tiga dimensi menjadi koordinat tanah. Proses ini diselesaikan dengan metode hitung kuadrat terkecil. Terdapat tujuh parameter yang dicari yaitu: faktor skala (s), tiga sudut rotasi omega (ω), phi (ϕ), kappa (κ), dan tiga faktor translasi TX, TY dan TZ. Hubungan antara sistem koordinat model dan sistem koordinat tanah dapat dimodelkan dalam persamaan transformasi konform.

2.9. 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.

2.9.1. 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):

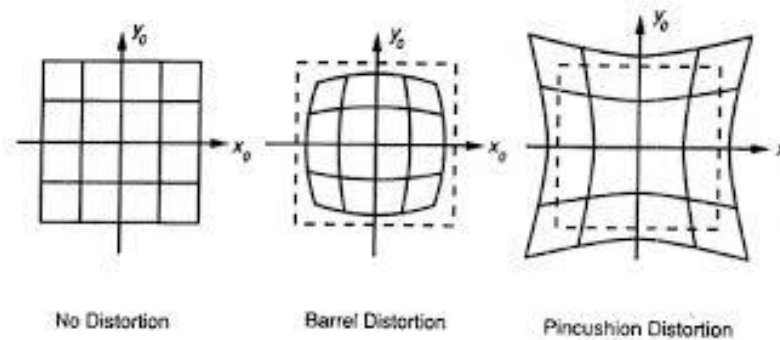
$$x_{\text{distorted}} = x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$y_{\text{distorted}} = y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \dots\dots\dots (2.6)$$

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 2.3.



Gambar. 2.5. Distorsi foto (sumber: Todor Stoyanov, 2015)

Model distorsi seperti pada Gambar 2.4 dapat diketahui dengan menghitung fungsi distorsi lensa $f(r)$ berdasarkan fungsi polinomial berikut (Hugemann, 2010):

$$f(r) = 1 + k_1r + 2r^2 + k_1r^3 \dots\dots\dots (2.7)$$

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 $f(r) > 1$.

2.9.2. 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):

$$x_{\text{distorted}} = x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)] \dots \dots \dots (2.8)$$

$$y_{\text{distorted}} = y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy] \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana,

$(x_{\text{distorted}}, y_{\text{distorted}})$ = Titik yang terdistorsi

(x, y) = Lokasi Titik tidak terdistorsi pada koordinat foto normalise

k_1, k_2, k_3 = koefisien distorsi lensa

r^2 = $x^2 + y^2$

2.10. Point Cloud

Point Cloud merupakan kumpulan data titik dalam ruang tiga dimensi dalam suatu system koordinat dan dapat mewakili permukaan eksternal dari suatu objek (Sitek, 2006). *Point Cloud* dihasilkan oleh sebuah *Scanner 3D* yang mengukur secara otomatis sejumlah titik-titik pada permukaan objek. Dalam system koordinat 3 dimensi, titik-titik ini biasanya direpresentasikan dalam koordinat X, Y, Z yang mewakili permukaan eksternal dari suatu objek

Data *Point Cloud* dapat digunakan untuk beberapa tujuan, salah satu tujuan utamanya adalah untuk pembuatan model yang menyerupai bentuk aslinya. *Point Cloud* biasanya dapat diubah kedalam bentuk *polygon* atau *triangle model mesh*,

model NURBS atau model CAD melalui proses yang disebut dengan rekonstruksi permukaan (Andaru, 2010). Ilustrasi *point cloud* terdapat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Contoh *pointcloud* dari perekaman foto (sumber :Zedfu)

2.11. Pembuatan Model Tiga Dimensi

Obyek tiga dimensi (3D) merupakan suatu obyek yang direpresentasikan dengan ukuran panjang, lebar, tinggi. Data obyek tiga dimensi secara spasial umumnya diperoleh dari suatu teknik pengukuran dengan menggunakan peralatan dalam pemetaan, yang didalamnya terdapat titik-titik detail yang terdefinisi dalam system koordinat tertentu. Kebutuhan data tiga dimensi sangat diperlukan dalam suatu perencanaan, konstruksi, ataupun manajemen asset. Model tiga dimensi sangat membantu memodelkan obyek-obyek yang memiliki kompleksitas yang tinggi. Apabila direpresentasikan dalam bentuk dua dimensi maka model tersebut akan banyak kehilangan informasi.

Model 3D yang dapat dibentuk terdiri dari:

a. *Dense Point Cloud Model*

Model tiga dimensi (3D) ini dibentuk dari *point clouds* yang dihasilkan oleh foto stereo secara otomatis, di proses secara komputerisasi dengan menggunakan prinsip interseksi spasial. Pembuatan point clouds terkadang tidak sesuai , sehingga perlunya pemilihan data point clouds yang sesuai dengan kerapatan yang diinginkan dan keaslian bentuk obyek.

b. *Surface (Meshing Point) Model*

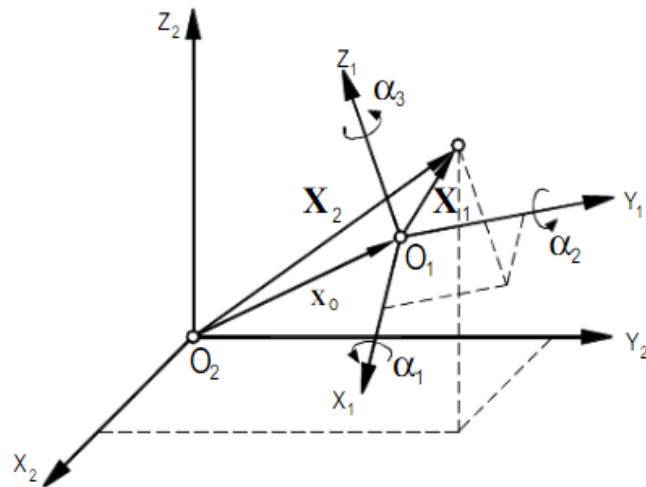
Rekonstruksi *surface* pada pemodelan 3D berasal dari *point cloud* yang dihasilkan pada tahapan sebelumnya. Poligon pada permukaan objek terbentuk berdasarkan titik-titik *dense point cloud*. Poligon-poligon tersebut membentuk segitiga yang bergabung satu sama lain, sehingga membentuk suatu permukaan objek yang solid. *Faces/ surface* pada *Agisoft PhotoScan* merupakan suatu permukaan yang terbentuk dari poligon, sedangkan *Vertex* merupakan titik-titik perpotongan antar poligon yang terbentuk dari minimal tiga atau lebih *faces/ surface*.

c. *Texturing Model*

Tekstur pada permukaan objek dapat terbentuk dengan cara memanggil tekstur dari foto aslinya atau memberikan tekstur yang tersedia dalam *software* pengolahan data. Pemetaan tekstur sendiri adalah proses desain grafis dimana gambar permukaan 2 dimensi melilit atau berada pada objek 3 dimensi.

2.12. Transformasi Koordinat 3D

Transformasi koordinat 3D adalah suatu proses pengikatan system koordinat model tiga dimensi menjadi koordinat tanah yang diikat dari titik kontrol referensi. Proses ini diselesaikan dengan metode hitung kuadrat terkecil. Terdapat tujuh parameter yang dicari yaitu: factor skala (s), tiga sudut rotasi omega (ω), phi (ϕ), kappa (κ), dan tiga factor translasi ΔX , ΔY , dan ΔZ . Hubungan antara system koordinat model dan system koordinat tanah dapat di modelkan dalam persamaan transformasi proyektif 3D yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Transformasi tiga dimensi(Sumber : Andrei, 2006)

Persamaan 1 Transformasi proyektif 3D.

$$\begin{bmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{bmatrix} = \lambda \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dalam hal ini,

$\begin{bmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{bmatrix}$: Sistem koordinat baru (koordinat *scanworld* yang menjadi referensi)

$\begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{bmatrix}$: Sistem koordinat lama (misal koordinat *scanworld* yang akan di transformasikan)

$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$: parameter translasi terhadap sumbu x, y, z

Λ : parameter skala dalam transformasi

R : Matrik rotasi

2.13. Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model merupakan representasi ketinggian dari suatu *continuous terrain* atau permukaan dalam digital atau numeris, dalam sistem koordinat (X,Y,Z). Interpretasi permukaan grid yang disajikan oleh sejumlah sempel yang berukuran sama yang direferensikan terhadap titik awal yang sama dan jarak

pengambilan sampel konstan yang sama pula dalam arah *absis* (x) dan *ordinat* (y). Setiap *mesh point* berisi nilai ketinggian (z) untuk Lokasinya yang merujuk pada nilai dasarnya. Sementara itu, nilai ketinggian permukaan untuk Lokasi yang terletak di antara *mesh point* dapat ditaksir dengan menginterpolasikan beberapa nilai ketinggian *mesh point* yang bersebelahan (Prahasta, 2014).

2.14. Cahaya dan Intensitas Cahaya

Cahaya merupakan energi berbentuk gelombang dan sangat membantu kita untuk melihat. Cahaya juga merupakan dasar ukuran meter, dimana satu meter bersamaan dengan jarak dilalui cahaya. Kecepatan cahaya adalah 299.792.458 meter per sekon. Adapun pencahayaan terbagi atas dua jenis, yaitu pencahayaan alami dan pencahayaan buatan. Pencahayaan alami (*day lighting*) adalah penggunaan cahaya yang 3 sumbernya dari cahaya matahari yang selalu tersedia di alam dan cahaya langit hasil pemantulan cahaya matahari. Sedangkan pencahayaan buatan (*artificial lighting*) adalah pencahayaan yang berasal dari sistem cahaya berenergi terbatas di alam, misalnya energi listrik serta energi dari proses minyak bumi dan gas.

Berikut merupakan perbedaan pencahayaan alami dan pencahayaan buatan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. perbedaan pencahayaan alami dan buatan

	Pencahayaan Alami	Pencahayaan Buatan
Sumber Cahaya	Sinar matahari dan cahaya langit	Sistem cahaya
Jenis Energi	Terbarukan	Tidak terbarukan
Intensitas Cahaya	Tergantung waktu dan cuaca	Dapat direncanakan dan stabil
Kuat Penerangan	Tergantung waktu dan cuaca	Dapat direncanakan dan stabil
Kualitas Warna Cahaya	Putih tunggal dengan spektrum cahaya lengkap	Tiga jenis putih dengan spektrum cahaya terbatas
Efek Penyilauan	Fluktuatif dan hanya dapat diantisipasi	Dapat dikontrol

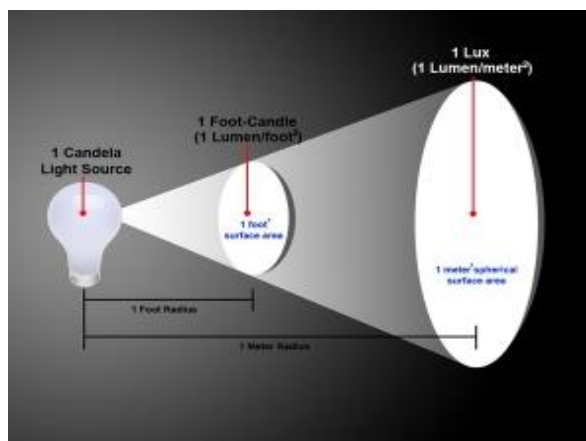
(Sumber: Latifah 2015:7)

Intensitas cahaya adalah kuat cahaya yang dikeluarkan oleh sebuah sumber cahaya ke arah tertentu dan diukur menggunakan luxmeter dengan satuan Candela

(Satwiko, 2004). Pada umumnya cahaya memiliki empat faktor yang dapat mempengaruhi kualitas pencahayaan yaitu kontras, silau, refleksi cahaya dan kualitas warna cahaya.

Petunjuk teknik sistem pencahayaan buatan diatur dalam SNI 03-6575-2001 Tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan Dalam Gedung.

2.14.1. Lux, Candela, dan Lumen



Gambar 2.8. Lux, Candela, Lumen (Sumber: j.w.speaker)

1. Lux

Lux adalah satuan metrik ukuran cahaya pada suatu permukaan. Cahaya rata-rata yang dicapai adalah rata-rata tingkat lux pada berbagai titik pada area yang sudah ditentukan. Satu lux setara dengan satu lumen per meter persegi. Tinggi mounting: Merupakan tinggi peralatan atau lampu di atas bidang kerja. Efficacy cahaya terhitung: Perbandingan keluaran lumen terhitung dengan pemakaian daya terhitung dinyatakan dalam lumens per watt.

2. Candela

Candela adalah intensitas cahaya, dalam suatu arah, dari satu sumber yang memancarkan radiasi monokromatik dengan frekuensi 540×10^{12} hertz dan yang mempunyai intensitas radian di arah $1/683$ watt per steradian.

3. Lumen

Lumens adalah satuan terang gelapnya cahaya. Semakin besar lumens maka semakin terang cahayanya. Satuan flux cahaya; flux dipancarkan didalam satuan unit sudut padatan oleh suatu sumber dengan intensitas cahaya yang seragam satu

candela. Satu lux adalah satu lumen per meter persegi. Lumen (lm) adalah kesetaraan fotometrik dari watt, yang memadukan respon mata “pengamat standar”.
 1 watt = 683 lumens pada panjang gelombang 555 nm

2.14.2. Luxmeter

Alat ukur pencahayaan adalah lux meter. Lux meter memiliki satuan lux, yang didefinisikan sebagai satuan metrik ukuran cahaya pada suatu permukaan. Lux meter memiliki range intensitas cahaya antara 1 – 100.000 Lux. Lux meter disusun oleh tiga komponen utama yaitu rangka, LED dan photodiode. Prinsip kerja lux meter adalah dengan mengubah energi cahaya menjadi arus listrik yang kemudian ditampilkan pada LED.



Gambar 2.9. Lux Meter (Sumber : www.Amazon.com)

Pada luxmeter terdapat tombol range atau kisaran pengukuran. Terdapat 3 kisaran pengukuran yaitu 2000, 20000, 50000(lux). Hal tersebut menunjukkan kisaran angka(batasan pengukuran) yang digunakan pada pengukuran. Memilih 2000lux, hanya dapat dilakukan pengukuran pada kisaran cahaya kurang dari 2000lux, begitu dengan kisaran pengukuran yang lain.

2.15. *Ground Sample Distance (GSD)*

GSD adalah nilai ukuran terkecil yang mampu terekam dalam satu piksel (Harintaka, 2012). Hitungan untuk memperoleh nilai GSD, dapat dilihat dari rumus:

$$GSD = SPS \times \frac{D}{f} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

GSD : *Ground Sample Distance*.

SPS : *Sensor Pixel Size*.

D : jarak objek ke kamera.

f : panjang fokus kamera saat pemotretan.

2.16. RMSE

Root Mean Square (RMS) Erros merupakan selisih antara nilai koordinat sebenarnya dengan koordinat di model. *Root Mean Square (RMS) Erros* digunakan untuk mengevaluasi tingkat keakuratan proses akurasi disetiap titik. RMSE yang bernilai semakin kecil dapat dikatakan bahwa hasil pengolahan semakin akurat, begitu sebaliknya apabila RMSE semakin besar, maka semakin tidak akurat pula hasil olahan data tersebut. Menurut (Esri, 2006) *Root Mean Square (RMS) Error* dapat diketahui dengan persamaan

$$\text{RMS X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_1)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{RMS Y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_1)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{RMS Z} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Z_1)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\text{RMS T} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2 + \Delta Z_1^2)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

ΔX_i , ΔY_i , ΔZ_i = residual dari titik (i) pada arah X, Y dan Z

T = total RMSE

n = jumlah dari titik cek

i = nomor titik