

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 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.

Ada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan bila membangun model objek, kesemuanya memberi kontribusi pada kualitas hasil akhir. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas pembentukan model tiga dimensi menurut Adinaningrum (2015) yaitu :

1. Resolusi foto. Foto dengan resolusi yang tinggi, mampu menghasilkan akurasi yang tinggi karena lokasi objek dapat diketahui secara tepat. Resolusi

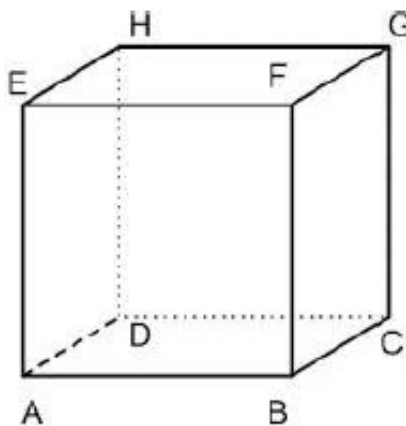
foto mendefinisikan kemampuan suatu kamera digital atau film *scanner*.

2. Kalibrasi kamera. Kalibrasi merupakan suatu proses penentuan panjang fokus Sudut antara foto. Titik dan objek yang sama akan muncul jika pemotretan ditujukan pada objek dengan sudut yang kecil. Misalnya, suatu titik akan muncul jika dua foto dilakukan pemotretan dengan jarak yang dekat.
3. Kualitas orientasi foto. Kualitas orientasi foto merupakan faktor orientasi luar (*exterior orientation*). Salah satu faktor yang berpengaruh pada akurasi suatu objek adalah posisi setiap kamera yang teliti.
4. Redundansi foto. Sebuah titik atau posisi objek akan lebih teliti jika muncul pada banyaknya foto yang akan dilakukan proses, dibandingkan hanya dengan dua foto.
5. Target. Posisi foto lebih mudah diidentifikasi jika menggunakan target. Ketelitian titik 3D akan tepat jika lokasi pada setiap foto saling terikat.

Geometri objek sederhana merupakan suatu objek yang bentuknya teratur yang besarnya bisa ditentukan melalui perhitungan matematis (Sarinurrohman, 2006). Contoh geometri objek pada sisi datar yaitu kubus, balok, limas, dan prisma, kemudian contoh geometri objek sisi lengkung yaitu bola, silinder, dan kerucut dimana dari bentuk tersebut dapat ditentukan luas dan volumenya. Berikut contoh-contoh dari objek sederhana tersebut :

#### 1. Kubus

Kubus adalah bangun ruang yang dibatasi oleh enam bidang sisi berbentuk bujur sangkar. Kubus memiliki 6 sisi, 12 rusuk dan 8 titik sudut.

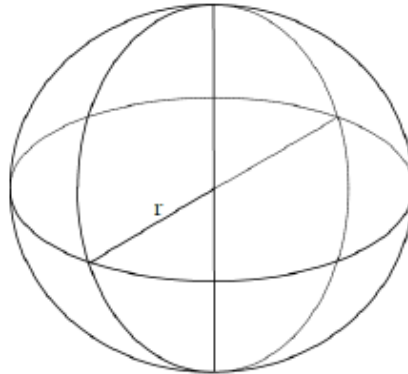


Gambar 2.1. Kubus

Gambar 2.1. merupakan ilustrasi gambar geometri sederhana dari kubus. Bentuk geometri sederhana ini digunakan mewakili bentuk struktur bangunan seperti lemari, meja, akuarium dan sebagainya.

## 2. Bola (*Sphere*)

Bola merupakan bangun ruang yang dibentuk oleh lingkaran yang tak terhingga yang mempunyai jari-jari sama panjang dan berpusat pada satu titik.

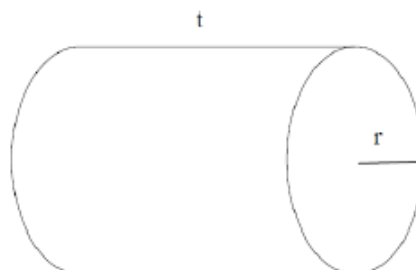


Gambar 2.2. Bola (*Sphere*)

Gambar 2.2. merupakan ilustrasi geometri sederhana dari bola. Bentuk geometri sederhana ini mewakili bentuk dari beberapa bagian komponen bangunan lingkaran seperti objek bola, roda, dan sebagainya.

## 3. Tabung (*Silinder*)

Tabung atau silinder merupakan bangun ruang yang dibentuk oleh dua buah lingkaran yang sejajar dan sebuah persegi panjang yang mengelilingi kedua lingkaran tersebut. Kedua lingkaran disebut sebagai alas dan tutup tabung serta persegi panjang yang menyelimutinya disebut sebagai selimut tabung atau tinggi tabung.

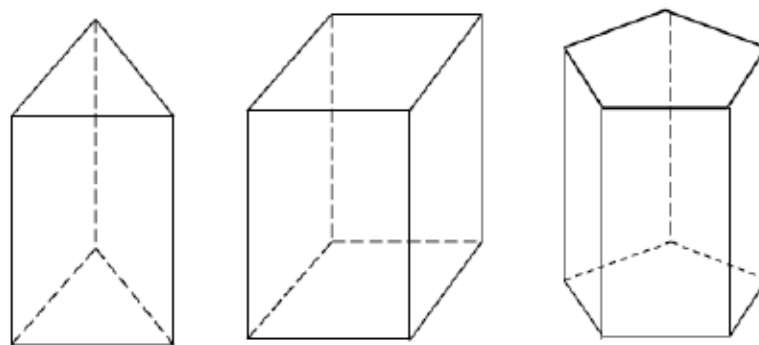


Gambar 2.3. Tabung (*Silinder*)

Gambar 2.3. merupakan ilustrasi geometri sederhana dari tabung . Bentuk geometri sederhana ini digunakan untuk mewakili bentuk dari tiang lampu, tiang listrik, dan komponen lain bangunan lainnya.

#### 4. Prisma

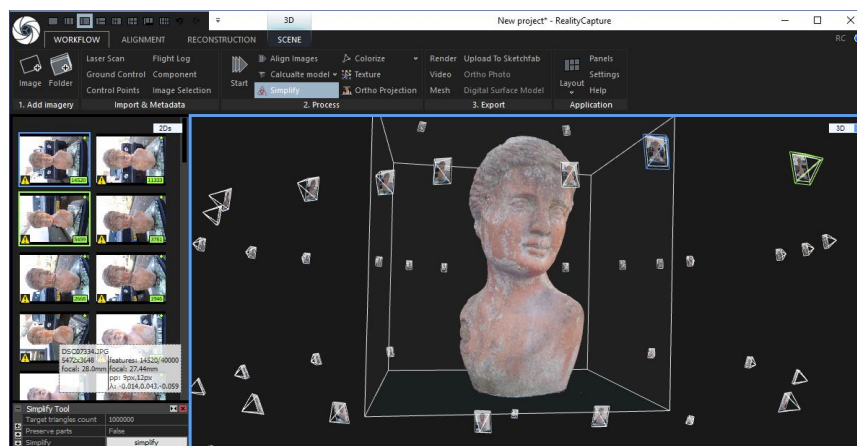
Prisma adalah bangun ruang yang dibatasi oleh alas dan tutup identik berbentuk segi-  $n$  dan sisi-sisi tegak berbentuk persegi atau persegi panjang. Prisma dengan alas dan tutup berbentuk persegi disebut balok sedangkan prisma dengan alas dan tutup berbentuk lingkaran disebut tabung.



Gambar 2.4. Prisma segitiga, prisma segiempat, dan prisma segilima

Gambar 2.4. merupakan ilustrasi geometri sederhana prisma. Bentuk geometri sederhana ini digunakan untuk mewakili bentuk dari atap bangunan, tiang, dan komponen lain bangunan.

Hasil pemodelan 3D dapat digunakan untuk inventarisasi dan pendokumentasian suatu obyek bersejarah, Berikut contoh hasil dari pemodelan 3D menggunakan *software* pengolahan berbasis digital.



Gambar 2.5. Model 3 Dimensi

## 2.2 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).

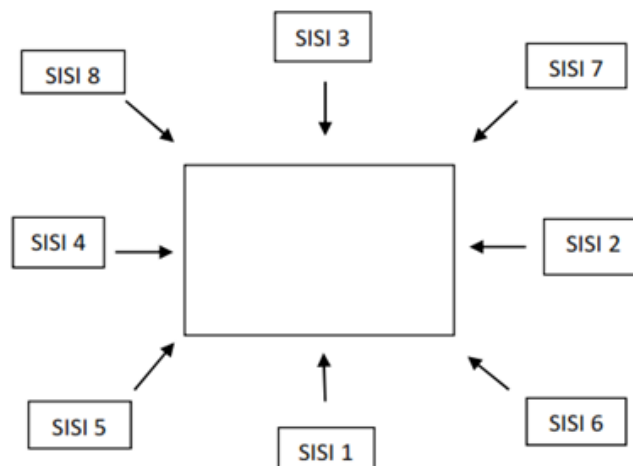
Jenis-jenis fotogrametri bisa dikategorikan menjadi beberapa cara (Luhmann dkk, 2006):

1. Berdasarkan posisi kamera dan jarak obyek (Luhmann dkk, 2006) :
  - a. Fotogrametri satelit; menghasilkan citra satelit, dengan ketinggian lebih dari  $\pm 200$  km.
  - b. Fotogrametri udara; menghasilkan citra udara, dengan ketinggian lebih dari  $\pm 300$  meter.
  - c. Fotogrametri terestris; pengukuran dari lokasi terestris yang ditetapkan.
  - d. Fotogrametri jarak dekat; jarak pengukuran kurang dari  $\pm 300$  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

Pada prinsipnya metode fotogrametri dilakukan dengan melakukan pengambilan gambar di sekitar/ sekeliling obyek yang akan dipotret dengan posisi kamera yang konvergen (Atkinson 1996). Terdapat empat langkah utama pada proses fotogrametri, yaitu :

1. Pemasangan titik kontrol sebagai koordinat referensi.
2. Perencanaan dan pelaksanaan pemotretan.
3. Pemrosesan foto.
4. Pendefinisian titik koordinat menggunakan foto (Hilton 1985 dalam ASCE 2003).

### 2.3 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri jarak dekat adalah teknologi fotogrametri untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi 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 terrestrial 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).
5. Kesalahan yang terjadi pada saat pengambilan dan pemrosesan foto dapat mempengaruhi ketelitian hasil.

## 2.4 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 fotogrametrik. Kamera metrik yang umum digunakan mempunyai ukuran format  $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ , 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 sistematik dan mendapatkan hasil yang baik berbagai terapan fotogrametri terrestrial ( Tjahjadi dkk, 2019 )

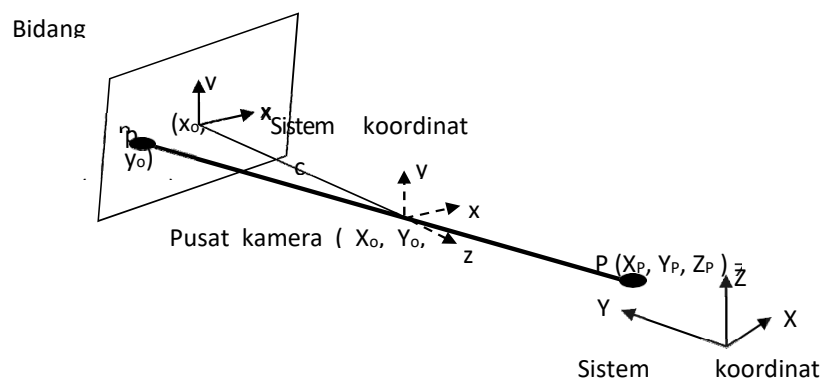
b. Ukuran film

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.

## 2.5 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 kesegarisan 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 kesegarisan (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.

## 2.6 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. Distorsi foto dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

**2.6.1 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 mengakibatkan posisi gambar mengalami distorsi sepanjang garis radial dari titik utama. Persamaan untuk mencari koefisien distorsi radial ( $k_1, k_2, k_3$ ) adalah sebagai berikut (Zhang, 2000):

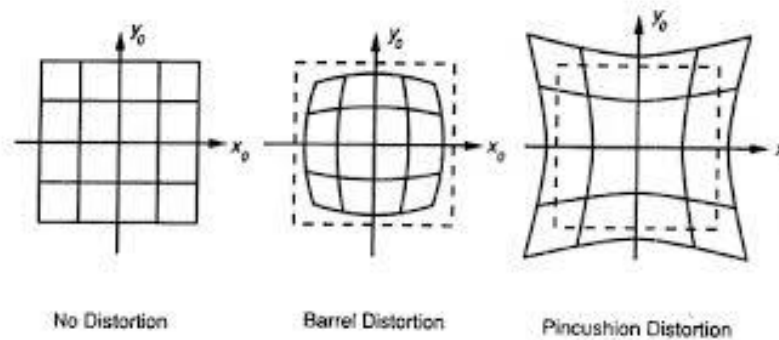
$$x \text{ distorted} = x ( 1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 ) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$y \text{ distorted} = y ( 1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 ) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,

- (x distorted, y 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 2.8.



Gambar 2.8 Distorsi foto (sumber: Todor Stoyanov, 2015)

Model distorsi seperti pada Gambar II.8 dapat diketahui dengan menghitung fungsi distorsi lensa  $f(r)$  berdasarkan fungsi polinomial berikut (Hugemann, 2010):

$$f(r) = 1 + k_1r + 2r^2 + k_1r^3 \dots\dots\dots (2.3)$$

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  $f(r) > 1$ .

**II.6.2 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):

$$x_{\text{distorted}} = x + [ 2p_1xy + p_2 ( r^2 + 2x^2 ) ] \dots\dots\dots (2.4)$$

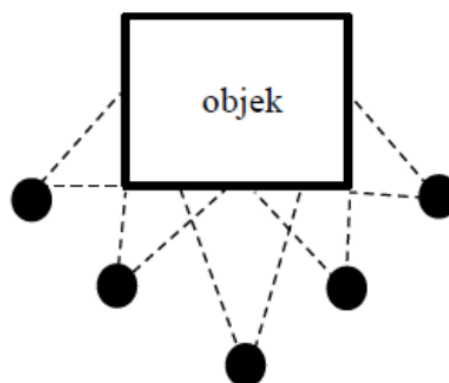
$$y_{\text{distorted}} = y + [ p_1 ( r^2 + 2y^2 ) + 2p_2xy ] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana,

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

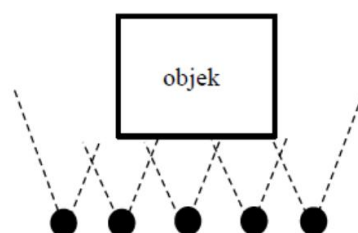
**2.7 Konfigurasi Kamera**

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. 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)

## 2.8 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.

## 2.9 Kepresisian dan Keakurasian

Terdapat beberapa istilah yang digunakan untuk menggambarkan keandalan pengukuran, yaitu kepresisian (*precision*), keakurasian (*accuracy*) dan ketidakpastian (*uncertainty*) (Mikhail and Gracie, 1981).

1. Keapresisian didefinisikan sebagai tingkat kedekatan hasil pengukuran yang berulang terhadap obyek yang sama. Jika hasil pengukuran yang berulang itu berdekatan maka disebut memiliki ketelitian yang tinggi, jika hasil itu terpaut jauh, maka disebut memiliki ketelitian yang rendah. Tingkat ketelitian yang

tinggi umumnya mencerminkan tingkat kehati-hatian dan penanganan yang tinggi dalam penggunaan alat dan prosedur yang digunakan dalam pengukuran. Ketelitian diindikasikan dengan penyebaran dari distribusi kemungkinan. Semakin kecil distribusinya maka ketelitiannya juga semakin tinggi, demikian juga sebaliknya. Ukuran yang biasanya adalah standar deviasi. Semakin tinggi ketelitian maka semakin kecil nilai standar deviasinya, demikian juga sebaliknya.

2. Kakurasian adalah tingkat kedekatan dari suatu hasil pengukuran terhadap nilai yang benar. Ketepatan tidak hanya merupakan akibat dari kesalahan acak, tetapi juga bias yang ada karena kesalahan sistematik yang tidak terkoreksi. Jika yang terjadi bias, maka standar deviasi juga dapat digunakan sebagai ukuran ketepatan.
3. Ketidakpastian adalah suatu jangkauan yang berisi kesalahan pengukuran. Satu tingkat dari kemungkinan umumnya dikaitkan dengan ketidakpastian. Secara umum, jika ketidakpastian dari suatu pengukuran diketahui, maka ketidakpastian itu akan menyertai nilai pengukuran.

Nilai presisi dapat ditunjukkan dengan nilai standar deviasi pengukuran. Cara menghitung simpangan baku adalah :

$$\sigma = \sqrt{(\sum(xi - x)^2/n)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

$\sigma$  = simpangan baku

$x_i$  = nilai ukuran ke-i

$x$  = nilai rerata hasil ukuran

$n$  = jumlah ukuran

Nilai akurasi ditunjukkan dengan nilai RMSE (root mean square error). Untuk menentukan nilai RMSE digunakan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{(\sum(xi - \mu)^2/n - 1)} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

$x_i$  = nilai ukuran ke-i

$\mu$  = nilai ukuran yang dianggap benar

$n$  = jumlah ukuran

## 2.10 Spesifikasi Kamera *Handphone*

Adapun spesifikasi kamera *handphone I-Phone 7 Plus* dan *Samsung Galaxy S9 Plus* sesuai dengan Tabel 2.1

Tabel 2.1. Spesifikasi kamera *I-Phone 7 Plus* dan *Samsung Galaxy S9 Plus*

<b>Sesifikasi Kamera</b>	<b>I-Phone 7 Plus</b>	<b>Samsung Galaxy S9 Plus</b>
Kamera Model	I- Phone 7 Plus	SM-G965F
Kamera Utama	12 MP	12 MP telephoto
Resolusi kamera	4032 x 3024 pixels	4032 x 3024 pixels
<i>Exposure time</i>	1/33 sec.	1/50 sec.
<i>Focal lenght</i>	4mm	4mm
<i>35mm focal lenght</i>	28mm	26mm
<i>ISO speed</i>	ISO-32	ISO-125
<i>Sensor Size</i>	1/3"	1/2,55"
<i>Pixel Size</i>	1,22 $\mu\text{m}$	1,4 $\mu\text{m}$
<i>F-Stop</i>	1/1.8	1/2.4