

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Fotogrametri**

Fotogrametri adalah suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan atau pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik. Seiring berkembangnya ilmu dan teknologi, teknik fotogrametri terus berkembang. Mulai dari fotogrametri analog, fotogrametri analitik hingga fotogrametri digital (*Softcopy Photogrammetry*) (Santoso, 2001 dalam Syauqani, Subiyanto, & Suprayogi, 2017).

Fotogrametri berasal dari kata Yunani dari kata “*photos*” yang berarti sinar “*gramma*” yang berarti sesuatu yang tergambar atau ditulis, dan “*metron*” yang berarti mengukur. Oleh karena itu konsep dari fotogrametri sendiri adalah pengukuran secara grafik dengan menggunakan sinar ( Hadi, 2007).

Kegiatan pemetaan secara fotogrametris yaitu menggunakan foto udara yang dilakukan selama puluhan tahun menyebabkan semakin berkembang pula peralatan dan teknik dalam pemetaan, diikuti dengan perkembangan fotogrametri yang akurat dan efisien, serta sangat menguntungkan didalam bidang pemetaan. Fotogrametri dapat dimanfaatkan untuk kegiatan pemetaan yang memerlukan ketelitian tinggi, sehingga perkembangan selanjutnya sebagian besar pemetaan topografi dan juga pemetaan persil dilakukan dengan menggunakan fotogrametri (Suyudi, 2014).

Akuisisi data fotogrametri tidak melakukan kontak fisik secara langsung itu menjadikan perbedaan yang absolut dengan *surveying*. Terdapat informasi penting dari akuisisi fotogrametri tersebut, yaitu:

#### 1. Informasi Geometris

Informasi Geometris meliputi posisi spasial dan bentuk dari obyek. Hal ini merupakan sumber informasi paling penting yang bisa diperoleh dari fotogrametri.

## 2. Informasi Temporal

Informasi Temporal berkaitan dengan perubahan obyek dari waktu ke waktu. Biasanya dilakukan dengan membandingkan beberapa gambar yang direkam dari waktu yang berbeda.

Jenis-jenis fotogrametri bisa dikategorikan dengan beberapa cara (Hadi,2007):

1. Berdasarkan posisi kamera dan jarak obyek:
  - a. Fotogrametri udara; menghasilkan citra udara dengan ketinggian lebih dari  $\pm 300$  meter.
  - b. Foto terestris; foto yang diambil secara langsung dilokasi yang sudah ditetapkan.
  - c. Fotogrametri jarak dekat; pengambilan foto dengan jarak kamera dan obyek 100 mm sampai 300 m.

Pada metode kombinasi fotogrametri dilakukan dengan pengambilan gambar vertikal menggunakan UAV dan horisontal menggunakan kamera DSLR, pengambilan gambar di sekitar obyek itu sendiri dipotret dengan posisi kamera yang konvergen setelah pemotretan dengan posisi konvergen dilanjutkan dengan metode *close range photogrammetry* yaitu pengambilan gambar dari jarak 15m sampai *close up* dengan objek tersebut (Atkinson, 1996).

Tahap awal sebelum pemotretan harus memasang retro, pemasangan retro harus menyebar di setiap obyek yang akan dipotret sehingga dapat dilihat di foto. Titik-titik ini akan dipakai untuk proses *refrencing*.



Gambar 2.1 pengambilan gambar menggunakan UAV

### 2.1.1 Kegunaan Fotogrametri

Fotogrametri mempunyai banyak kegunaan dalam pengukuran tanah dan rekayasa. Misalnya dipakai dalam pengukuran tanah untuk menghitung koordinat titik sudut, titik sudut batas. Peta-peta skala besar dibuat berdasarkan fotogrametri untuk pengkaplingan tanah, untuk memetakan garis-garis pantai, untuk menentukan koordinat titik kontrol, untuk menggambarkan penampang melintang dalam pembuatan jalan (Wolf, 1993).

Fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara pada umumnya dipergunakan untuk berbagai kegiatan perencanaan dan desain seperti jalan raya, jalan kereta api, jembatan, jakur pipa, tanggul, jaringan listrik, jaringan telepon, bendungan, pelabuhan, pembangunan perkotaan, dsb. (Wolf, 2008).

### 2.2 *Close Range Photogrammetry*

Fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*) merupakan cabang dari ilmu fotogrametri, yang membedakannya adalah posisi kamera dengan objek tersebut. Jika fotogrametri merekam objek di bumi dengan posisi kamera di udara maka fotogrametri jarak dekat merekam objek di bumi dengan posisi kamera di bumi. Fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*) muncul pada saat teknik ini digunakan untuk obyek yang dipotret dengan jarak kurang dari 100 meter dan posisi kamera dekat dengan obyek tersebut (Atkinson, 1996), namun ada penelitian lain yang menyatakan bahwa fotogrametri jarak dekat dapat digunakan untuk pengambilan foto yang memiliki jarak antara objek dengan kamera tidak melebihi 300 meter (Anuar & Zulkarnaini, 1998).

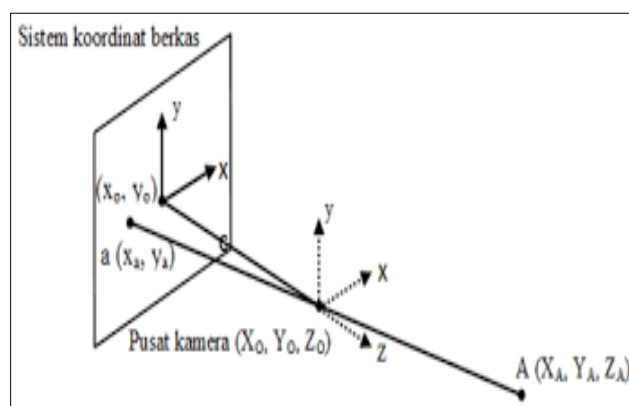
Berbeda dengan foto udara, kamera foto terestrial biasanya mudah dicapai sehingga dapat dilakukan pengukuran langsung untuk memperoleh posisi pemotretan. Orientasi kesudutan kamera biasanya dapat juga diukur pada nilai-nilai tertentu sehingga semua unsur orientasi luar foto terestrial pada umumnya dikeahui dan tidak perlu dihitung. Parameter-parameter orientasi luar yang diketahui ini merupakan sumber kontrol bagi foto terestrial, dengan mengganti seluruh atau sebagian yang perlu untuk meletakkan titik kontrol di dalam ruang objek (Wolf, 1993).

Pada teknik *close range photogrammetry* pengukuran terhadap suatu objek biasanya dilakukan terhadap hasil perekaman dari beberapa alat sensor. Istilah fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*) ini telah diperkenalkan oleh Cooper dan Robson (1996) dimana jarak obyek ke kamera adalah kurang dari 100 meter, hingga beberapa sentimeter kedudukan posisi kamera terhadap obyek. Kamera dan prosedur analisis fotogrametri terestris ini dimulai pada akhir abad ke-19 oleh seorang kolonel Perancis, Laussedat (Atkinson, 1980). Dalam fotogrametri jarak dekat, pemotretan diambil pada jarak kurang dari 300 meter dari posisi kamera ke objek (Wolf and Dewitt 2000).

### 2.2.1 Prinsip Dasar *Close Range Photogrammetry*

Foto udara dianggap merupakan proyeksi sentral, dengan kamera sebagai pusat proyeksi. Oleh karena itu setiap titik objek selalu dihubungkan oleh garis sinar ke titik yang bersesuaian pada foto melalui kamera. Keadaan segaris antara titik obyek yang diamati foto dan kamera diwujudkan oleh persamaan yang sangat dikenal dan sangat penting yang disebut persamaan kolinier (*collinearity equation*) (Soeta'at, 1994).

Pada teknik fotogrametri jarak dekat pengukuran terhadap suatu objek dilakukan terhadap hasil perekaman dari beberapa alat sensor. Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film. Kondisi dimana titik objek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kesejarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas.



Gambar 2.2 kondisi kesejarisan, Atkinson (1996)

Dalam fotogrametri, posisi dari sebuah objek pada ruang didefinisikan pada sistem koordinat kartesian 3D. Pada awalnya, objek terdefinisi pada sistem koordinat foto. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk mendapatkan koordinat objek pada sistem koordinat tanah (objek). Antara kedua sistem koordinat itu terdapat perbedaan orientasi dan skala (Atkinson, 1996).

Koordinat terdiri dari translasi, rotasi dan perubahan skala. Pusat dari sistem koordinat foto merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif (*perspective center*). 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. Pada Gambar 2.11 merupakan panjang fokus kamera,  $X_L$ ,  $Y_L$ ,  $Z_L$  merupakan titik pusat kamera,  $x_a$ ,  $y_a$  merupakan koordinat sebuah titik A pada sistem koordinat foto, dan  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $Z_A$  merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah (Wolf, 2008).

### 2.3 Kamera DSLR

Dalam fotogrametri kamera merupakan salah satu instrumen paling penting, karena kamera digunakan untuk membuat foto yang merupakan alat utama dalam fotogrametri. Oleh karena 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 sebelum digunakan. Nilai-nilai kalibrasi dari kamera metrik seperti panjang fokus, distorsi radial lensa, koordinat titik utama foto diketahui dan dapat digunakan untuk periode yang lama.

#### 2. Kamera non metrik

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

a. Ketidakstabilan geometri

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.

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. Selain itu dengan semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, keterbatasan-keterbatasan penggunaan kamera format kecil dapat diatasi, sehingga kamera non-metrik menjadi instrumen yang layak digunakan untuk foto udara (Wijayanti, 2008).

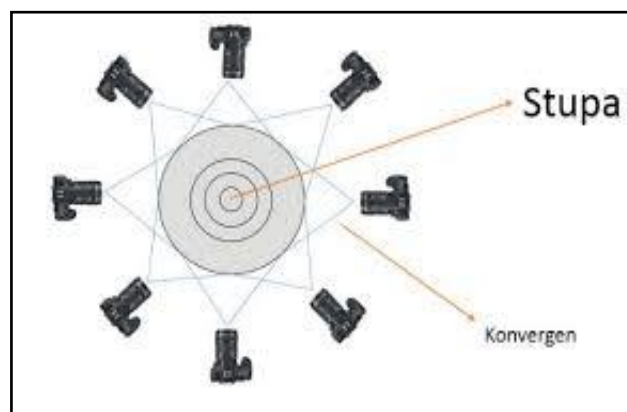
### 2.3.1 Konfigurasi Kamera

Kamera Foto ini mudah dicapai sehingga dapat dilakukan pengukuran langsung untuk memperoleh posisi pemotretan. Penggunaan metode alternatif

yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrammetry* (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat, dengan memanfaatkan kamera *Digital Single Lens* (Harahap, 2014),

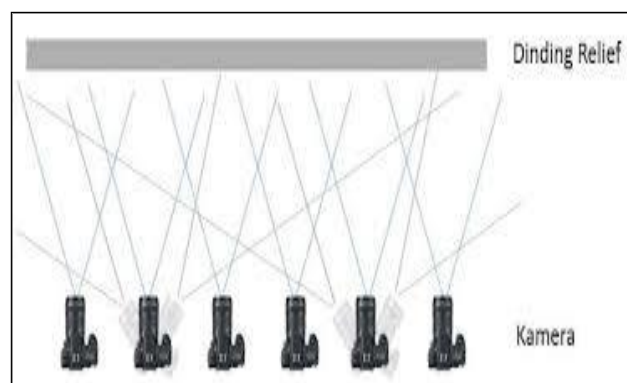
Menurut (Pragmantya, 2018) ada dua konfigurasi pemotretan menggunakan kamera DSLR, antara lain:

1. 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 2.3 Konfigurasi kamera konvergen (Amiranti, 2016)

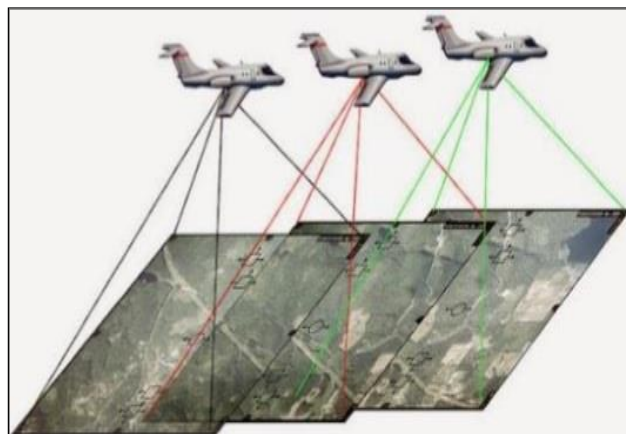
2. Konfigurasi kamera planar, berbeda dengan konfigurasi kamera konvergen, konfigurasi kamera planar mengambil foto dengan letak stasiun yang berbeda pada satu garis lurus atau paralel. Konfigurasi kamera planar menghasilkan foto yang memiliki kemiripan orientasi. Adanya kemiripan orientasi antar foto, 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 (Amiranti, 2016)

## 2.4 Foto Udara

Foto udara merupakan citra yang direkam dari udara untuk memperoleh gambaran dari sebagian permukaan bumi dengan menggunakan wahana pesawat terbang dengan ketinggian tertentu dan menggunakan kamera tertentu. Berdasarkan jenisnya, foto udara dibedakan atas dua jenis yaitu foto tegak dan foto miring. Foto udara tegak merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto dimana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi tegak lurus dengan permukaan bumi. Sedangkan foto miring merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto di mana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi miring. Jenis foto udara yang digunakan untuk keperluan pemetaan adalah foto udara tegak (Putri, Subiyanto, & Suprayogi, 2016).



Gambar 2.5 Foto Udara

Foto udara diklasifikasikan sebagai foto udara tegak (vertikal) dan foto udara condong. Foto udara vertikal yaitu apabila sumbu kamera pada saat pemotretan dilakukan benar-benar vertikal atau sedikit miring tidak lebih dari  $3^\circ$ , sedangkan yang disebut dengan foto miring sekali dibuat dengan sumbu kamera yang sengaja diarahkan menyudut terhadap sumbu vertikal. Untuk foto miring, batasannya adalah antara kedua jenis foto tersebut. Secara umum foto yang digunakan untuk peta adalah foto tegak (Wolf, 1993).

### 2.4.1 *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

Pesawat tanpa awak UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan jenis pesawat terbang yang dikendalikan alat sistem kendali jarak jauh lewat



gelombang radio. UAV merupakan sistem tanpa awak (*unmanned system*) yaitu sistem berbasis elektro mekanik yang dapat melakukan misi-misi terprogram dengan karakteristik sebuah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh pilot atau mampu mengendalikan dirinya sendiri, UAV dapat dikendalikan manual melalui radio kontrol atau secara otomatis dengan mengolah data pada sensor (Saraoinsong, 2018).



Gambar 2.6 *Unmanned Aerial Vehicle*

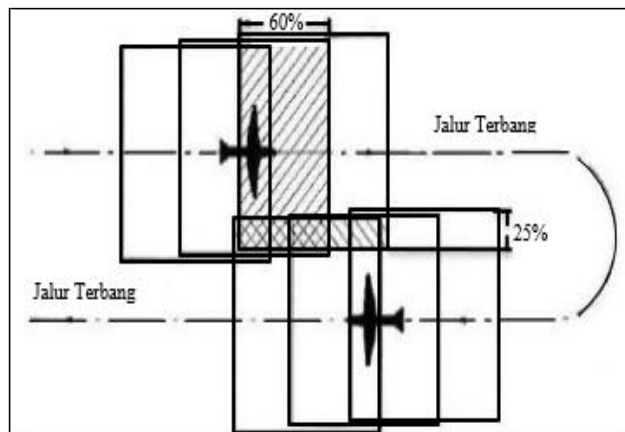
Terminologi terbaru UAV fotogrametri menjelaskan bahwa platform ini dapat beroperasi dan dikendalikan dari jarak jauh baik secara semi-otomatis maupun otomatis tanpa perlu pilot duduk di kendaraan. Platform ini dilengkapi dengan kemampuan untuk melakukan pengukuran fotogrametri baik secara skala kecil maupun besar dengan menggunakan sistem kamera atau kamera video, sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR, atau kombinasi ketiganya. UAV standar saat ini memungkinkan pendaftaran, pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global. Oleh karena itu teknologi UAV fotogrametri ini dapat dipahami sebagai alat pengukuran fotogrametri terbaru (Eseinbei, 2009).

#### **2.4.1.1 Desain Jalur Terbang**

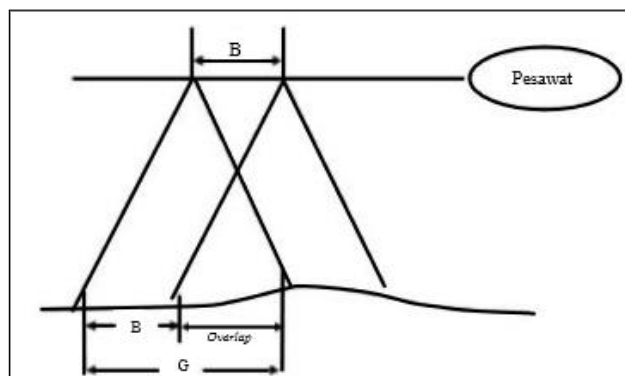
Dalam suatu pekerjaan fotogrametri memerlukan suatu rencana jalur terbang agar foto yang di hasilkan mempunyai kualitas yang baik. Proses pengambilan jalur terbang biasanya diambil jarak yang terpanjang untuk melakukan perekaman, hal ini untuk memperoleh kestabilan pesawat disaat

pemotretan. Dalam mendesain jalur terbang di buat sepanjang garis yang sejajar untuk membuat foto yang bertampalan (Eisenbei, 2009).

Area yang bertampalan overlap, merupakan daerah yang bertampalan antara foto satu dengan foto yang lainnya sesuai dengan nomor urutan jalur terbang. Besarnya tampalan antar foto tersebut umumnya sebesar 60%. Misalnya foto X1 memiliki informasi yang sama dengan foto X2 sebesar 60%. Tujuan dari tampalan ini adalah untuk menghindari daerah yang kosong disaat perekaman dikarenakan wahana pesawat terbang melaju dengan kecepatan yang tinggi. Selain overlap foto udara juga harus sidelap, sidelap merupakan pertampalan antara foto udara satu dengan foto udara lain yang ada diatas maupun dibawah area yang direkam ilustrasi pada gambar 2.5. Sidelap ini terjadi pada jalur terbang yang berbeda jadi suatu wilayah pada jalur terbang 1 yang telah direkam akan direkam kembali sebesar 25% dari liputan jalur terbang 2. Berikut ini gambaran dari proses Overlap dan Sidelap (Surya, 2017).



Gambar 2.7 Contoh jalur terbang (Surya, 2017)

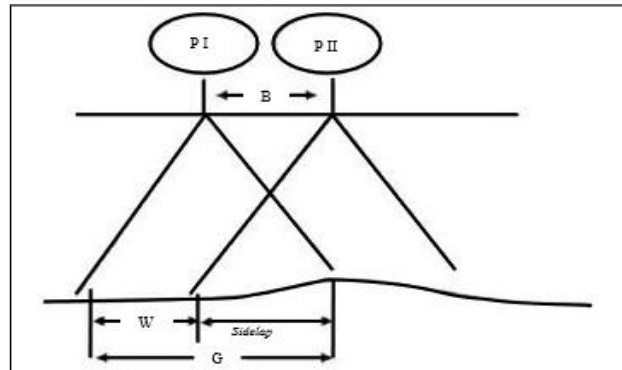


Gambar 2.8 Tampalan depan/Overlay (Surya, 2017)

Keterangan:

G = ukuran bujur sangkar medan yang terliput oleh sebuah foto tunggal

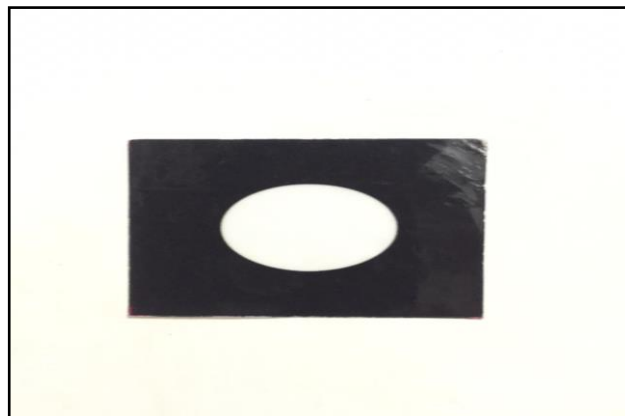
B = basis atau jarak antara stasiun pemotretan sebuah pasangan foto stereo



Gambar 2.9 Tampilan samping/*Sidelap* (Surya, 2017)

## 2.5 Retro (Target)

Selama pengambilan gambar, permukaan benda harus diberi tanda (target) pada daerah-daerah yang dianggap dapat mewakili bentuk dari permukaan tersebut. Dengan memperhatikan jumlah foto, jumlah titik sekutu ini juga dapat berjumlah sangat banyak. Oleh karena itu, digunakan sebuah objek dengan pola yang telah dibuat sedemikian rupa yang diberi nama *coded target* (Hattori, Akimoto, Fraser, & Imoto, 2002 dalam Danurwendi, 2012).



Gambar 2.10 Retro/Target (Penulis, 2020)

## 2.6 Model 3 Dimensi

Ada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan bila membangun model obyek, kesemuanya memberi kontribusi pada kualitas hasil akhir. Hal-hal tersebut

meliputi metoda yang digunakan untuk mendapatkan atau membuat data yang mendeskripsikan obyek, tujuan dari model, tingkat kerumitan, perhitungan biaya, kesesuaian dan kenyamanan (Tjahjadi dan Djauhari, 2017).

Model tiga dimensi merupakan sebuah titik, garis, kurva, dan bidang yang saling berkumpul yang dapat mempresentasikan bentuk pada suatu objek dalam ruang tiga dimensi. Model tiga dimensi dapat memberikan informasi seperti, geometri, visualisasi, dan dimensi dari sebuah objek. Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas pembentukan model tiga dimensi menurut (Asbintar, 2016).

### **2.6.1 Konsep Dasar 3D Modelling**

Pemodelan adalah membentuk suatu benda-benda atau objek, membuat dan mendesain objek tersebut sehingga terlihat seperti bentuk aslinya. Sesuai dengan objek dan basisnya, proses ini secara keseluruhan dikerjakan didalam komputer. Melalui konsep dan proses desain, keseluruhan objek dapat diperlihatkan secara 3 dimensi, sehingga banyak yang menyebut hasil ini sebagai pemodelan 3D. Model 3D dapat terbentuk, baik menggunakan metode *image based rendering*, *image based modelling*, *range based modelling*, maupun *combination of image and range based modeling*. Sebagai contoh lain hasil pemodelan 3D menggunakan teknik *image based modelling* yang pelaksanaannya menggunakan teknik *close range photogrammetry* (Nalwan, 1998 dalam Herianto, 2013)

Dalam bidang grafik, pemodelan 3D adalah proses membangun representasi secara matematis dari setiap permukaan tiga dimensi suatu objek menggunakan perangkat lunak khusus. Jika yang dimodelkan adalah objek nyata, maka objek tersebut diukur atau diamati dengan teknologi *survey*. Data berupa *point cloud* sering disebut data tidak terstruktur, sementara representasi model 3D biasanya disebut sebagai data terstruktur seperti model solid (contoh: *Constructive Solid Geometry*) maupun model permukaan (contoh: *Polygonal Mesh*). Dengan demikian, bisa juga dikatakan bahwa pemodelan 3D adalah mengubah data tidak terstruktur menjadi terstruktur (Suwardhi<sup>1</sup>, Mukhlisin<sup>1</sup>, Darmawan<sup>1</sup>, Trisyanti<sup>1</sup>, Brahmantara, Suhartono, 2016). Dari dua buah foto yang bertampalan yang dihasilkan dari dua posisi pemotretan yang berbeda, akan dapat dibentuk sebuah model tiga dimensi. Model ini direpresentasikan oleh titik-titik tiga dimensi (x, y,

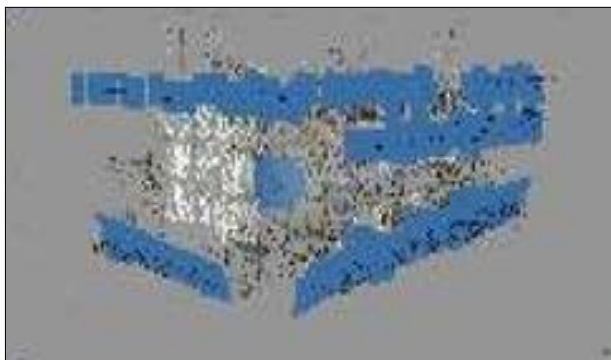
z). Untuk dapat membentuk model tiga dimensi tersebut diperlukan suatu proses hitungan fotogrametri seperti orientasi dalam, orientasi luar, dan orientasi absolut. Fotogrametri jarak dekat merupakan teknik untuk mendapatkan informasi geometri seperti posisi, ukuran dan bentuk dari suatu obyek yang telah diambil gambarnya dalam bentuk foto (Amiranti, 2016).

### 2.6.2 Metode 3D Modelling

Didalam memodelkan suatu objek terutama objek (model) 3D menggunakan teknik *close range photogrammetry*, terdapat beberapa metode yang digunakan, meliputi: *Triangulation*, *Photo-based Scanning*. Berikut adalah beberapa metode tersebut menurut beberapa sumber pustaka.

#### 1. *Align Photos*

*Align photos* digunakan untuk identifikasi titi-titik yang ada di gambar. Proses ini akan membuat *matching point* dari 2 atau lebih foto. Proses ini menghasilkan 3D model awal dan *sparse clouds* yang akan digunakan untuk tahapan berikutnya. Fungsi dari tahapan ini adalah menentukan posisi kamera yang sesungguhnya pada saat pemotretan dan mengorientasikan antara satu foto dengan foto yang lain sehingga dapat terbentuk titik-titik *point cloud* model dari objek-objek yang sama antar foto (Rosalina, 2014).



Gambar 2.11 *Alignment Photos* (Rosalina, 2014)

#### 2. *Dense Cloud*

*Dense Cloud* adalah kumpulan titik tinggi dalam jumlah ribuan hingga jutaan titik. *Dense cloude* nantinya dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan DSM, DTM dan Orthophoto. Perangkat *Agisoft photoscan profesional* memungkinkan kita untuk menghasilkan dan memvisualisasikan *sparse point*

*cloud* menjadi *point cloud* baru yang lebih rapat yang tetap didasarkan pada posisi kamera (Herianto, 2013).

*Build dense cloud*, *build dense cloud* ini berfungsi untuk memperjelas obyek pada foto udara terutama pada obyek awan. Obyek awan akan nampak seperti bayang-bayang awan (Rosalina, 2014).



Gambar 2.12 Hasil *Dense Cloud* (Rosalina, 2014)

### 3. *Build Mesh*

*Mesh* merupakan diskritisasi ruang geometri dalam bentuk potongan- potongan sederhana seperti segitiga, kuadrilateral (dua dimensi), heks ahedral atau tetrahedral (tiga dimensi). *Mesh* digunakan diberbagai bidang terapan, seperti geografi, kartografi, grafika komputer, dan utamanya sangat penting dalam penyelesaian numerik pada persamaan diferensial parsial. Pembuatan jaringan segitiga (*mesh*) merupakan inti dari semua program rekontruksi permukaan. Sebuah triangulasi yang optimal ditentukan dengan cara mengukur sudut, panjang tepi, tinggi atau daerah elemen, sedangkan kesalahan dari pendekatan elemen terbatas biasanya terkait dengan sudut minimum elemen (Bern dan Eppstein, 1992).



Gambar 2.13 Hasil *Mesh* (Rosalina, 2014)

#### 4. *Build Texture*

Tekstur dapat ditentukan secara otomatis dengan memilih gambar yang memiliki visibilitas terbaik atau manual dengan memilih *surface* (permukaan) yang tepat pada gambar yang diinginkan. *Build Texture* adalah model fisik 3D dari tampilan yang ada di area yang dicover oleh foto udara, proses dari *build texture* sendiri adalah untuk memberi *texture* tampilan pada DSM yang dihasilkan, hasil dari *build texture* ini merupakan kenampakan muka bumi secara 3 Dimensi (Ildar, 1999).



Gambar 2.14 Hasil *Texturing 3D Modelling* (Ildar, 1999)

Setelah dilakukan texturing, maka bentuk dan warna objek kelihatan seperti aslinya. Dalam melakukan texturing terhadap model 3D terdapat beberapa faktor dari foto yang mempengaruhi proses ini. Faktor dari foto yang mempengaruhi model 3D bertekstur diantaranya sebagai berikut:

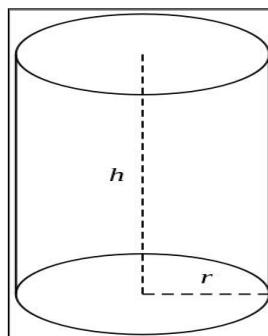
1. *Radiometric image distortion*, efek ini berasal dari penggunaan foto yang berbeda, dengan posisi kamera yang berbeda, dengan kamera yang berbeda, atau dibawah kondisi pencahayaan yang berbeda pula. Oleh karena itu didalam tekstur model 3D, diskontinuitas terdapat disepanjang tepi segitiga bertekstur yang berdekatan, karena menggunakan gambar yang berbeda (Remondino dan Niederoest, 2004).
2. *Geometric scene distortion*, merupakan jenis kesalahan yang diakibatkan dari kesalahan kalibrasi kamera dan orientasi, penandaan gambar yang tidak tepat pada generasi mesh. Akurasi *bundle adjustment* didalam fotogrametri, registrasi citra yang tepat, dan perbaikan poligon harus digunakan untuk mengurangi atau meminimalisir kesalahan geometris.

3. *Object occlusions*, obyek asing statis atau bergerak seperti pejalan kaki, mobil, monument atau pohon lainnya, tergambar didepan obyek yang akan dimodelkan jelas tidak diinginkan dan harus sejauh mungkin dihapus pada pra-pengolahan (Orrin dan Remondino, 2005).
4. *Dynamic range of the image*, gambar digital sering memiliki *dynamic range* yang rendah. Oleh karena itu, area terang pada umumnya dipenuhi sedangkan bagian gelap mengandung sinyal noise rendah. Untuk mengatasi masalah ini proses *dynamic range images* harus dibuat (Debevec and Malik, 1997).

### 2.6.3 Geometri Objek

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. Tabung (Silinder), bangun ruang tiga dimensi yang dibentuk oleh dua buah lingkaran identik yang sejajar dan sebuah persegi panjang yang mengelilingi kedua lingkaran tersebut. Tabung memiliki 3 sisi dan 2 rusuk. Kedua lingkaran disebut sebagai alas dan tutup tabung serta persegi panjang yang menyelimutinya disebut sebagai selimut tabung.



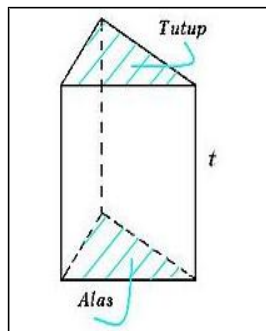
Gambar 2.15 Tabung (Silinder)

2. Prisma

Prisma adalah bangun ruang tiga dimensi yang dibatasi oleh alas dan tutup identik berbentuk segi-n dan sisi-sisi tegak berbentuk persegi atau persegi



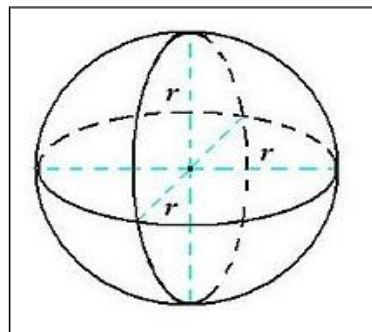
panjang. Dengan kata lain prisma adalah bangun ruang yang mempunyai penampang melintang yang selalu sama dalam bentuk dan ukuran. Prisma segi- $n$  memiliki  $n + 2$  sisi,  $2n$  titik sudut, dan  $3n$  rusuk. Prisma dengan alas dan tutup berbentuk persegi disebut balok sedangkan prisma dengan alas dan tutup berbentuk lingkaran disebut tabung.



Gambar 2.16 Prisma

### 3. Bola (*Sphere*)

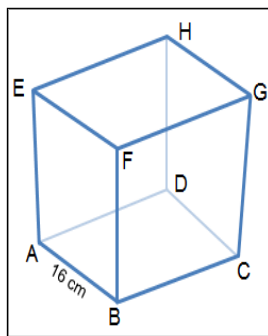
Bola adalah bangun ruang tiga dimensi yang dibentuk oleh tak hingga lingkaran berjari-jari sama panjang dan berpusat pada satu titik yang sama. Bola hanya memiliki 1 sisi.



Gambar 2.17 Bola (*Sphere*)

### 4. Kubus

Kubus adalah bangun ruang tiga dimensi yang dibatasi oleh enam bidang sisi yang kongruen berbentuk bujur sangkar. Kubus memiliki 6 sisi, 12 rusuk dan 8 titik sudut. Kubus juga disebut bidang enam beraturan, selain itu juga merupakan bentuk khusus dalam prisma segiempat.



Gambar 2.18 Kubus

Gambar 2.10 merupakan ilustrasi gambar geometri sederhana dari kubus beserta komponennya, dimana bentuk geometri sederhana ini digunakan mewakili bentuk struktur bangunan seperti meja, lemari dan sebagainya.

## 2.7 Perangkat Lunak *Agisoft Photoscan*

*Agisoft* merupakan sebuah perangkat lunak yang diproduksi oleh *Agisoft LCC* tahun 2006. Perusahaan riset yang inovatif bergerak di bidang teknologi komputer dalam algoritma pengolahan citra dengan teknik fotogrametri digital. Produk-produk *agisoft* diantaranya *agisoft photoscan*, *agisoft lens*, *agisoft stereo*. *Agisoft lens* merupakan *software* yang digunakan untuk kalibrasi kamera otomatis dengan target kalibrasi di layar LCD. *Agisoft stereoscan*, digunakan dalam pembuatan model 3D dari pasangan gambar stereo. *Agisoft photoscan* digunakan untuk membangun rekonstruksi 3D, visualisasi, survei dan tugas pemetaan (RoseGIS, 2017).

*Agisoft PhotoScan* adalah solusi pemodelan 3D berbasis gambar canggih yang bertujuan menciptakan profesional konten 3D berkualitas dari gambar diam. Berdasarkan teknologi rekonstruksi 3D multi-view terbaru, itu beroperasi dengan gambar *arbitrary* dan efisien dalam kondisi terkontrol dan tidak terkontrol. Foto bisa diambil dari posisi apapun, asalkan objek yang akan direkonstruksi terlihat pada setidaknya dua foto. Penyelarasan gambar dan rekonstruksi model 3D sepenuhnya otomatis, kelebihan penggunaan *agisoft* dalam fotogrametri adalah *photoscan* dapat melakukan pengolahan mozaik foto dalam waktu yang singkat, dan hasil memiliki *color balancing* yang terhitung baik. Selain itu dapat pula melakukan pengolahan otomatis melalui proses *batch*. Sementara kelemahan dari

*agisoft photoscan* adalah masih dilakukannya penginputan GCP harus dilakukan secara manual. (Agisoft LLC, 2016).

Umumnya tujuan akhir pemrosesan foto dengan *PhotoScan* adalah untuk membangun model 3D bertekstur. Itu prosedur pemrosesan foto dan konstruksi model 3D terdiri dari empat tahap utama (Agisoft LLC, 2016).

1. Tahap pertama adalah penyalarsan kamera. Pada tahap ini, *Agisoft PhotoScan* mencari titik-titik umum pada foto dan mencocokkannya, serta menemukan posisi kamera untuk setiap gambar dan memurnikan kamera parameter kalibrasi. Akibatnya awan titik tipis dan satu set posisi kamera terbentuk. Awan titik jarang menunjukkan hasil pelurusan foto dan tidak akan langsung digunakan prosedur konstruksi model 3D lebih lanjut (kecuali untuk rekonstruksi berbasis *cloud point sparse*). Namun itu dapat diekspor untuk penggunaan lebih lanjut dalam program eksternal. Misalnya, *model point cloud* dapat digunakan dalam editor 3D sebagai referensi. Sebaliknya, set posisi kamera diperlukan untuk rekonstruksi model 3D lebih lanjut oleh *Agisoft PhotoScan*.
2. Tahap selanjutnya adalah membangun *point cloud* yang padat. Berdasarkan perkiraan posisi kamera dan gambar sendiri awan titik padat dibangun oleh *PhotoScan*. *Cloud* titik padat dapat diedit dan diklasifikasikan sebelum mengekspor atau melanjutkan ke generasi model mesh 3D.
3. Tahap ketiga adalah membangun mesh. *PhotoScan* merekonstruksi mesh poligonal 3D yang mewakili objek permukaan berdasarkan titik awan padat atau tipis sesuai dengan pilihan pengguna. Umumnya ada dua metode algoritmik yang tersedia di *PhotoScan* yang dapat diterapkan ke generasi mesh 3D: *Height Field* - untuk permukaan jenis planar, Sewenang-wenang - untuk segala jenis objek. Mesh yang telah dibangun, mungkin perlu untuk mengeditnya. Beberapa koreksi, seperti penipisan mesh, penghapusan komponen terpisah, penutupan lubang di mesh, *smoothing* dll dapat dilakukan oleh *PhotoScan*. Untuk pengeditan yang lebih kompleks Anda harus menggunakan alat editor 3D eksternal. *PhotoScan* memungkinkan untuk mengekspor mesh, edit dengan perangkat lunak lain dan impor kembali.

4. Setelah geometri (mesh) direkonstruksi, ia dapat diberi tekstur dan / atau digunakan untuk pembentukan *orthomosaic*. Beberapa mode *texturing* tersedia di *PhotoScan*, mereka dijelaskan di bagian yang sesuai pada prosedur pembuatan manual, serta *orthomosaic* dan DEM ini.

## 2.8 RMSE (*Root Mean Square Error*)

RMSE (Root Mean Square Error) merupakan akar kuadrat dari rata – rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber independen yang ketelitiannya lebih. RMSE horizontal ditentukan dari nilai RMSE absis dan RMSE ordinat (FGDC, 2013). Nilai RMSE absis dan RMSE ordinat dapat dihitung dengan persamaan berikut (FGDC, 2013).

$$RMSE = \sqrt{\sum = \frac{(Y_i - \hat{Y})^2}{n}} \dots\dots\dots 2.1$$

Keterangan:

$Y_i$  = data dari *software*

$\hat{Y}$  = data sebenarnya (hasil pengukuran dilapangan)

n = jumlah data