

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1 Fotogrametri

Fotogrametri didefinisikan sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam ^[10]. Seiring berkembangnya ilmu dan teknologi, teknik fotogrametri terus berkembang. Mulai dari fotogrametri analog, fotogrametri analitik hingga fotogrametri digital (*Softcopy Photogrammetry*) ^[11]. Dari beberapa pengertian tersebut, terdapat dua aspek penting, yakni ukuran objek (kuantitatif) dan jenis objek (kualitatif). Kedua aspek tersebut yang kemudian berkembang menjadi cabang fotogrametri, yakni fotogrametri metrik dan fotogrametri interpretatif ^[12].

1. Fotogrametri Metrik

Fotogrametri Metrik adalah bidang yang berkaitan dengan pengukuran atau pengamatan persepsi yang bertujuan untuk memperoleh data kuantitatif seperti jarak, sudut, luas dan posisi dari suatu objek. Untuk memperoleh data tersebut diperlukan alat-alat khusus serta pengetahuan dan keterampilan tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan matematis antara sistem foto udara dengan sistem tanah, sehingga ukuran-ukuran di foto dapat dipindahkan ke sistem tanah atau sebaliknya. Pemanfaatan fotogrametri metrik yang paling banyak digunakan adalah untuk menyusun peta planimetrik dan peta topografi, disamping untuk pemetaan geologi, kehutanan, pertanian, keteknikan, pertanahan, dan lain-lain ^[12].

2. Fotogrametri Interpretatif

Fotogrametri interpretatif mempelajari pengenalan dan identifikasi obyek serta menilai arti pentingnya obyek tersebut melalui suatu analisis sistematis dan cermat dengan tujuan untuk memperoleh data kualitatif dari suatu objek yang direkam. Fotogrametri interpretatif meliputi cabang ilmu interpretasi foto udara dan penginderaan jauh ^[12].

II.1.1 Foto Udara

Foto udara adalah peta foto yang didapat dari survei udara dengan melakukan pemotretan lewat udara pada daerah tertentu dengan aturan fotogrametris tertentu. Definisi foto udara lainnya adalah citra yang direkam dari udara untuk memperoleh gambaran informasi yang akurat dari sebagian permukaan bumi dengan menggunakan wahana pesawat terbang dengan ketinggian tertentu dan menggunakan kamera tertentu ^[13]. Ciri-ciri foto udara antara lain:

1. Skala pada foto udara sama untuk satu lembar foto
2. Sistem proyeksi perspektif
3. Semua aspek terlihat
4. Tidak ada legenda atau simbol

Foto udara dibagi menjadi dua jenis, yaitu foto udara metrik dan foto udara *non* metrik. Foto udara metrik merupakan foto udara yang datanya diperoleh dari kamera udara yang memiliki ketelitian tinggi. Foto udara metrik dirancang khusus untuk pemetaan. Foto udara ini memiliki panjang dan lebar masing-masing adalah 23 cm x 23 cm. Foto udara metrik dilengkapi dengan *fiducial mark* ^[11]. Sedangkan, foto udara *non* metrik merupakan foto yang diperoleh dari kamera yang umum biasa digunakan. Kamera udara *non* metrik fokusnya dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan. Berdasarkan jenis tegaknya, foto udara dibedakan atas dua jenis, yaitu foto tegak dan foto miring.

1. Foto udara tegak

Foto udara tegak merupakan Semua foto udara yang dibuat dari pesawat terbang dengan arah sumbu optik kamera tegak lurus atau sangat mendekati tegak lurus dengan permukaan bumi ^[14].

2. Foto Udara Miring

Foto udara miring merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto di mana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi miring ^[14].

Jenis foto udara yang banyak digunakan untuk keperluan pemetaan adalah foto udara tegak ^[15]. Jika sumbu kamera diletakan tegak saat dilakukan pencahayaan, hasil foto akan memiliki datum yang sama dengan lapangan serta hasil fotonya tegak vertikal. Namun pada praktiknya, sumbu kamera sangat jarang

menjadi tegak karena kemiringan pada pesawat yang tidak dapat dihindari. Ketika sumbu kamera sedikit mengalami kemiringan, hasil fotonya disebut sebagai *tiled photograph* (foto miring). Kemiringan yang terjadi biasanya kurang dari 1° dan jarang lebih dari 3° [16].

II.1.2 UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan sebuah metode baru dalam fotogrametri yang mengaplikasikan fotogrametri rentang dekat dengan sistem tanpa awak (*Unmanned System*), yaitu sistem berbasis elektro-mekanik yang dapat melakukan misi-misi terprogram, dengan karakteristik tanpa awak pesawat, beroperasi pada mode mandiri (*autopilot*) baik secara penuh atau sebagian sehingga menciptakan alternatif baru yang lebih hemat biaya dibandingkan fotogrametri berawak klasik [17]. Wahana ini menggunakan radio kontrol yang dapat dioperasikan baik secara manual, semi otomatis maupun otomatis tanpa perlu adanya pilot di dalam wahana. Semua proses mulai dari penerbangan wahana, kontrol jalur terbang dan pengambilan foto dapat dilakukan dari darat melalui kendali radio kontrol. Sistem ini dirancang untuk dapat dipergunakan secara berulang [18].

Kelebihan akuisisi data dengan teknologi UAV ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi waktu pelaksanaan pekerjaan, karena dapat menjangkau wilayah yang luas dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan pemetaan terestris.
2. Efisiensi biaya, karena biaya yang dikeluarkan lebih kecil dibandingkan dengan pemetaan terestris.
3. Efektifitas pekerjaan, karena cakupan wilayah yang dapat dijangkau per hari lebih luas dibandingkan dengan pemetaan terestris.
4. UAV dapat digunakan pada situasi dengan resiko tinggi tanpa perlu membahayakan nyawa manusia
5. Pada area yang tidak dapat diakses, UAV dapat terbang pada ketinggian rendah dibawah awan sehingga foto yang dihasilkan terbebas dari awan [19].

Saat ini, pesawat tanpa awak yang digunakan untuk misi pemetaan, *monitoring* dan inspeksi terhadap suatu target yang ada di atas permukaan bumi adalah dengan menggunakan UAV *fully autopilot* (kontrol otomatis penuh),

sehingga target objek, tinggi terbang, jalur terbangnya, serta pertampalan (*overlap* dan *sidelap*) antar foto sudah diprogram sedemikian rupa untuk akuisisi data di atas permukaan bumi, dengan parameter-parameter sesuai dengan yang diinginkan, dengan diimplementasikannya perangkat GNSS (*Global Navigation Satellite System*) atau unit navigasi maupun stabilisasi memungkinkan kegiatan penerbangan yang presisi (sesuai dengan rencana terbang) sekaligus menjamin terpenuhinya cakupan area dan *overlap* foto yang diinginkan ^[19].

II.1.3 SFM (*Structure From Motion*)

Teknologi SFM pada mulanya dikembangkan untuk membangun model tiga dimensional dari obyek dua dimensional seperti foto (*image*). Meskipun tergolong baru dalam kajian geografi, namun pada dasarnya teknologi SfM ini telah dikembangkan sejak akhir tahun 1970 dibidang teknik komputer ^[20]. Konsep utama dari SFM adalah ilmu fotogrametri yaitu melakukan pengukuran secara kuantitatif menggunakan gambar hasil fotografi kamera. Perbedaan yang mendasar diantara keduanya adalah pada teknik SFM tidak diperlukan seting awal kamera seperti posisi dan arah kamera. Dalam tehnik SFM juga tidak diperlukan kalibrasi gambar stereoskopis yang dihasilkan. SFM menggunakan gambar stereoskopis yang banyak (tiga atau lebih) dan melakukan perhitungan trigonometri seperti pada teknik fotogrametri untuk menghasilkan dataset yang bersifat tiga dimensional. SFM berbasis multi gambar atau foto, sehingga sangat direkomendasikan untuk menggunakan sensor yang bergerak (*moving sensor*) ^[21].

SFM (*Structure from Motion*) beroperasi menggunakan prinsip dasar yang sama dengan fotogrametri tradisional, yaitu struktur 3D bisa didapatkan dari beberapa gambar yang bertampalan. Tetapi, secara dasar berbeda dengan fotogrametri tradisional, karena geometri dari lokasi, yaitu posisi kamera dan orientasi diketahui secara otomatis tanpa harus menentukan titik – titik kontrol 3D. Hal ini diselesaikan secara bersamaan menggunakan prosedur bundle adjustment yang iteratif, berdasarkan database dari fitur yang diambil secara otomatis dari beberapa gambar yang bertampalan ^[22]. Metode ini paling cocok digunakan untuk sekumpulan gambar dengan tingkat overlap tinggi yang menangkap struktur tiga dimensi secara keseluruhan dari lokasi yang dilihat dari berbagai macam posisi,

atau sesuai dengan namanya, gambar yang didapat dari sensor yang bergerak ^[23]. Metode SFM tidak memerlukan reseksi dalam pengerjaannya. Posisi kamera dan geometri dari lokasi direkonstruksi secara bersamaan melalui identifikasi secara otomatis dari fitur yang sama dalam beberapa gambar. Fitur ini dilacak dari gambar ke gambar, memungkinkan perkiraan awal dari posisi kamera dan koordinat objek yang nantinya diperbaiki secara iteratif menggunakan minimalisasi least-square yang non-linear ^[22].

II.2 LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) merupakan sistem penginderaan jauh aktif menggunakan sinar laser yang dapat menghasilkan informasi mengenai karakteristik topografi permukaan tanah dalam posisi horizontal dan vertikal. Definisi lain terkait LiDAR yaitu sebuah perangkat atau sistem yang sering digunakan pada aktivitas - aktivitas survei, pengukuran, atau pengamatan yang menggunakan teknik atau metode penginderaan jauh aktif dengan cahaya dalam bentuk pulsa-pulsa laser untuk mengukur jarak terhadap objek di permukaan bumi dengan kerapatan dan akurasi yang tinggi ^[24]. Sinar laser tersebut dapat menembus celah dedaunan untuk mencapai permukaan tanah dan dipantulkan kembali untuk ditangkap oleh sensor laser ^[25].

LiDAR telah tersedia selama sepuluh tahun dan dalam lima tahun terakhir LiDAR telah diterima sebagai metode standar untuk pengambilan akuisisi data dalam 3D, sejajar dengan metode yang sudah ada seperti *tacheometry*, fotogrametri dan GNSS. Secara khusus, dokumentasi yang terbangun pada industri sistem LiDAR telah memainkan peran penting karena ketersediaan pertama mereka sebagai sistem komersial. Keuntungan utama dari sistem pengukuran ini adalah akuisisi data 3D yang lengkap dan rinci pada objek untuk aplikasi yang berbeda. Secara khusus, penggunaan LiDAR untuk 3D *modeling*, pengukuran deformasi, pemantauan dan analisis telah meningkat selama beberapa tahun terakhir. Pengembangan luas ini telah difasilitasi oleh perangkat lunak baru dan komputer dengan peningkatan daya CPU dan penyimpanan yang dapat memproses data titik 3D dari LiDAR ^[26].

II.2.1 Prinsip Kerja LiDAR

Prinsip sistem sensor laser pada LiDAR bekerja dengan menghitung jarak berdasarkan informasi selang waktu yang dibutuhkan sinar laser untuk menempuh perjalanan dari pemancar hingga kembali ke *receiver* [27]. Sistem LiDAR mengkombinasikan sebuah sinar laser yang sempit dengan sebuah sub-sistem penerima (*receiver*). Secara umum prinsip kerja sensor laser pada LiDAR ditunjukkan pada Gambar II.1.



Gambar II.1 Prinsip Kerja Sensor Laser

Laser ini menghasilkan pulsa-pulsa optik yang akan dikirimkan dan kemudian dipantulkan kembali oleh objek-objek permukaan bumi hingga akhirnya dapat diterima kembali oleh sub-sistem penerimanya. Subsistem penerima ini kemudian mengukur secara akurat, waktu perjalanan pulsa dari awal hingga akhirnya diterima kembali. Berjalannya pulsa-pulsa tersebut pada kecepatan cahaya, sub-sistem penerimanya dapat mengindra pulsa-pulsa yang kembali (*returns*) sebelum pulsa-pulsa berikutnya dikirimkan menuju objek-objek yang diamati. Nilai kecepatan gelombang cahaya telah diketahui, maka nilai waktu perjalanan pulsa-pulsa yang bersangkutan dapat dikonversikan menjadi nilai-nilai jarak pengukuran yang dirumuskan dalam persamaan II.1 [24].

$$d = c \frac{\Delta t}{2} \dots\dots\dots \text{II.1}$$

Perlu menjadi penekanan bahwa proses pengukuran jarak dari sensor ke permukaan bumi menggunakan acuan waktu sinyal menempuh perjalanan dari sensor ke objek dan kembali lagi ke sensor. Dalam hal ini waktu tempuh hanya digunakan sekali perjalanan sinyal, sehingga waktu tempuh sinyal dari dari sensor ke objek dan kembali lagi ke sensor dibagi 2 [28].

II.2.2 Komponen LiDAR

Sensor LiDAR merupakan komponen paling penting dalam sistem LiDAR, karena berfungsi sebagai pemancar sinar laser ke objek dan merekam kembali gelombang pantulannya setelah mengenai objek target. Sinar laser merupakan suatu mekanisme pemancaran radiasi elektromagnetik dalam bentuk cahaya tunggal dan koheren pada spektrum dan frekuensi tertentu. Sehingga pancarannya memiliki sudut pancaran yang kecil dan memiliki intensitas yang tinggi untuk dapat mencapai jarak yang jauh dan terarah dengan tepat pada suatu perangkat ^[29].

Jenis dari gelombang yang dipancarkan oleh sensor laser ialah gelombang hijau dan gelombang *near infrared* (NIR) atau infra merah. Gelombang infrared berfungsi untuk mengukur suatu daratan topografi di permukaan bumi bukan untuk perairan. Karena air akan menyerap gelombang NIR sehingga pantulan yang diterima sensor akan sangat sedikit bahkan tidak ada sama sekali ^[29]. Gelombang hijau memiliki panjang gelombang antara 500-550 nm berperan sebagai gelombang penetrasi jika suatu sinar laser mengenai daerah perairan. Biasanya gelombang hijau digunakan untuk *Hydrography* LiDAR yaitu untuk pengukuran batimetri atau kedalaman laut yang relatif dangkal ^[30].

Sensor laser memiliki beberapa karakteristik yang dapat dibedakan dari kekuatan sinar laser yang dipancarkan, cakupan dari pancaran sinar gelombang laser dan jumlah sinar laser yang dihasilkan per detik. Selain itu, salah satu karakteristik sensor LiDAR yang kian menjadi kelebihan alat LiDAR dibandingkan yang lainnya ialah kemampuan gelombang tersebut untuk melakukan multiple returns, yakni sensor LiDAR dapat merekam beberapa kali gelombang pantul dari objek yang ada di permukaan bumi untuk setiap gelombang yang dipancarkan. Multiple returns digunakan untuk menentukan bentuk dari objek ^[30].

II.3 Filtering DSM to DTM

Teknik *filtering* DSM adalah proses manipulasi khusus terhadap data DSM agar diperoleh turunan data sesuai dengan tujuan penggunaan ^[31]. *Filtering* DSM juga digunakan untuk melakukan koreksi nilai elevasi dari suatu data DSM. Prinsip *filtering* DSM menghitung nilai-z baru untuk piksel dalam DSM dengan menggunakan perhitungan terhadap rata-rata nilai dari piksel di sekitarnya ^[32].

Filtering merupakan proses perubahan nilai piksel dalam dataset sesuai dengan nilai piksel disekelilingnya. *Filtering* merupakan operasi lokal dalam pengolahan citra yang dilakukan guna memudahkan interpretasi visual [32].

II.4 DTM (*Digital Terrain Model*)

Konsep DTM (*Digital Terrain Model*) pada mulanya populer digunakan untuk kepentingan daratan. Jenis ini biasanya digunakan untuk melihat beberapa aspek yang terjadi di darat seperti kemiringan dan elevasi daratan serta analisis topografi suatu daerah [33]. Namun seiring perkembangan waktu, DTM juga diaplikasikan kedalam dunia kelautan. Secara umum DTM didefinisikan sebagai representasi statistik permukaan tanah yang kontinyu dari titik-titik yang diketahui koordinat x, y, dan z-nya pada suatu sistem koordinat tertentu [34].

Selain definisi di atas, terdapat beberapa definisi DTM lainnya, yaitu:

1. DTM adalah suatu basis data dengan koordinat x, y, dan z yang digunakan untuk merepresentasikan permukaan tanah secara digital [35].
2. DTM adalah DEM yang telah ditambah dengan unsur-unsur seperti breaklines dan pengamatan selain data asli [36].
3. DTM adalah deskripsi digital permukaan medan dari poin 3D yang mendekati sebagian atau seluruh permukaan terrain dengan satu set poin diskrit [37].

DTM disebut sebagai sistem yang terdiri dari dua bagian berupa sekumpulan titik yang mewakili bentuk permukaan terrain yang disimpan pada memori komputer dan algoritma untuk melakukan interpolasi titik-titik berupa data titik yang diberikan [38]. DTM dibentuk dari DSM dimana nilai elevasi berada pada *bare earth*. DSM yang digunakan untuk membentuk DTM secara digital menghapus seluruh fitur pada permukaan area [39]. DTM menerapkan prinsip digital dan numerik yang memperkecil skala dari ukuran sebenarnya dengan tujuan agar pengguna mampu untuk memahaminya [40].

II.5 Ketelitian Geometrik

Definisi ketelitian secara umum merupakan perbandingan jumlah total sampel hasil klasifikasi dengan jumlah sampel referensi. Ketelitian diperlukan dalam sebuah peta tujuannya adalah untuk menghasilkan perhitungan yang akurat

sehingga peta yang dihasilkan dapat dipertanggungjawabkan dan disepakati oleh berbagai pihak. Ketelitian peta adalah nilai yang menggambarkan tingkat kesesuaian antara posisi dan atribut sebuah objek di peta dengan posisi dan atribut sebenarnya. Ketelitian peta meliputi ketelitian geometri yaitu nilai yang menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi sebenarnya. Ketelitian geometri pada peta memiliki dua komponen, salah satu komponen tersebut adalah akurasi ketelitian vertikal.

Ketelitian vertikal digambarkan dengan ukuran relief berupa koordinat Z. Ketelitian vertikal ditetapkan berdasarkan hasil uji yang mengacu pada perbedaan koordinat Z antara titik uji pada peta dengan lokasi sesungguhnya pada permukaan tanah. Hasil uji ketelitian vertikal dapat ditentukan berdasarkan standar ketelitian geometrik peta yang mengacu pada SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014 menetapkan standar ketelitian vertikal berdasarkan nilai LE (*Linier Error*) yang diperoleh. Nilai LE diperoleh apabila telah dilakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Nilai RMSE sebagaimana dirumuskan dalam persamaan II.1 ^[41]:

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta Z_i^2} \dots\dots\dots II.1$$

RMSE adalah akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber *independent* yang akurasinya lebih tinggi. Apabila nilai RMSE telah didapatkan, perhitungan dapat dilanjutkan untuk mencari nilai LE. Nilai LE dirumuskan dalam persamaan II.2:

$$LE_{90} = 1,6499 \times RMSE_z \dots\dots\dots II.2$$

Nilai LE menjadi tolak ukur didalam ukuran ketelitian geometrik vertikal sebuah peta. Nilai LE dapat ditentukan dengan menggunakan 90% atau 95% bergantung dengan nilai kepercayaan yang digunakan. Nilai 90 menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut ^[41]. Apabila nilai LE telah diperoleh, ditentukan ketelitian geometrik peta berdasarkan

klasifikasi skala peta yang tertuang di dalam SNI 8202:2019 dan ASPRS Tahun 2014. Klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019 tertuang pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Klasifikasi Skala Peta (SNI 8202:2019)

No	Skala	Ketelitian Peta	
		Kelas 1 (LE90)	Kelas 2 (LE90)
1	1 : 1.000.000	200	400
2	1 : 500.000	100	200
3	1 : 250.000	50	100
4	1 : 100.000	20	40
5	1 : 50.000	10	20
6	1 : 25.000	5	10
7	1 : 10.000	2	4
8	1 : 5.000	1	2
9	1 : 2.500	0,5	1
10	1 : 1.000	0,2	0,4

Tabel II.1 menunjukkan klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019 dibagi menjadi dua kelas. Klasifikasi skala peta berdasarkan SNI 8202:2019 ini mengacu pada nilai LE yang diperoleh dari perhitungan nilai RMSEz yang dikalikan dengan koefisien korelasi. Nilai LE berdasarkan SNI 8202:2019 menggunakan selang kepercayaan 90% sehingga nilai dari koefisien korelasi sebesar 1,679^[9]. Selain klasifikasi skala peta menurut SNI 8202:2019, hasil uji akurasi juga diklasifikasikan berdasarkan ASPRS Tahun 2014. Klasifikasi skala peta berdasarkan ASPRS Tahun 2014 tertera pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Klasifikasi Skala Peta (ASPRS Tahun 2014)

<i>Vertical Accuracy Class</i>	<i>Absolute Accuracy</i>		<i>Map Scale</i>
	<i>NVA at 95% Confidence Level (cm)</i>	<i>RMSEz (cm)</i>	
8,33	≤ 16,33	≤ 4,165	1 : 500
16,67	≤ 32,67	≤ 8,335	1 : 1.000
33,33	≤ 65,33	≤ 16,665	1 : 2.000
83,33	≤ 163,33	≤ 41,665	1 : 5.000
166,67	≤ 326,67	≤ 83,335	1 : 10.000

Tabel II.2 menunjukkan klasifikasi skala peta menurut ketentuan ASPRS Tahun 2014. Klasifikasi skala peta menurut ASPRS Tahun 2014 dibagi menjadi

satu kelas. Klasifikasi skala peta berdasarkan ASPRS Tahun 2014 ini mengacu pada nilai LE yang diperoleh dari perhitungan nilai RMSEz yang dikalikan dengan koefisien korelasi. Nilai LE berdasarkan ASPRS Tahun 2014 menggunakan selang kepercayaan sebesar 95% sehingga nilai LE didapat dari nilai RMSEz yang dikalikan dengan koefisien korelasi sebesar 1,96^[42].