

Bab 2

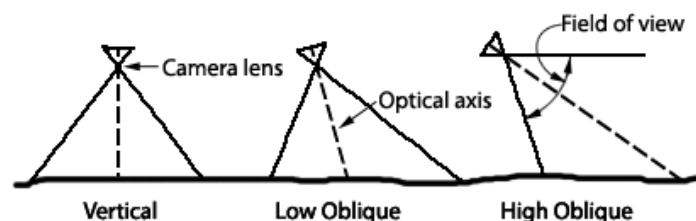
Metode dan Data

2.1 UAV-fotogrametri dan Kamera Format Kecil

2.1.1 UAV-fotogrametri

Fotogrametri didefinisikan oleh *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) sebagai seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik pada pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf & Dewitt, 2000). Fotogrametri menjadi salah satu metode untuk melakukan pemetaan dengan data berupa citra atau foto.

Ada dua tipe fotografi dalam fotogrametri, yaitu fotografi udara dan fotografi *terrestrial*. Pada fotografi *terrestrial*, foto diambil di atas permukaan tanah menggunakan kamera berbasis tanah. Pengukuran posisi dan orientasi foto dilaksanakan langsung pada saat pemotretan. Pada teknik fotografi udara terdapat pembagian berdasarkan posisi aksis kamera, yaitu tegak (*vertical*) dan miring (*oblique*). Foto yang tegak atau vertikal diambil saat aksis kamera setegak mungkin. Foto dikatakan sebagai foto tegak sebenarnya jika aksis kamera berada pada kondisi vertikal sempurna sehingga bidang fotografi dengan bidang acuan menjadi sejajar. Sebaliknya, pada foto miring, orientasi kamera dibuat miring. (Wolf, 1993). **Gambar 2.1** menunjukkan jenis orientasi kamera pada fotogrametri udara.



Gambar 2.1 Orientasi kamera pada fotogrametri udara, yaitu tegak (*vertical*), miring rendah (*low oblique*) dan sangat miring (*high oblique*) (Wolf, 1993)

Kebutuhan pemetaan melalui foto udara yang semakin kompleks mendorong diciptakannya UAV-fotogrametri. Terminologi UAV-fotogrametri digunakan untuk mendeskripsikan metode pengukuran fotogrametri yang dioperasikan secara jarak jauh, semi-otomatis, atau otomatis tanpa pilot duduk di wahana (Eisenbeiß, 2009). UAV fotogrametri tergolong sebagai teknologi baru yang dikembangkan di bidang fotogrametri udara. Karena tidak menggunakan operator manusia, wahana yang digunakan disebut juga wahana nir-awak seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Pesawat nir-awak

UAV-fotogrametri memberikan aplikasi pemotretan domain rentang dekat yang mengombinasikan fotogrametri udara dan *terrestrial* serta mengenalkan pemotretan dengan biaya yang lebih murah dibandingkan fotogrametri udara berawak (Eisenbeiß, 2009). **Tabel 2.1** menjelaskan perbedaan antara fotogrametri udara, fotogrametri rentang dekat dan UAV-fotogrametri.

Tabel 2.1 Perbedaan fotogrametri udara, fotogrametri rentang dekat dan UAV-fotogrametri (Eisenbeiß, 2009)

Unsur	Fotogrametri Udara	Fotogrametri Rentang Dekat	UAV Fotogramteri
Perencanaan	Semi-otomatis	Manual	Otomatis-manual
Akuisisi data / terbang	Dibantu/manual	Dibantu/manual	Dibantu/manual
Luasan area	km ²	mm ² – m ²	m ² – km ²
Resolusi gambar	cm – m	mm – dm	mm – m

Unsur	Fotogrametri Udara	Fotogrametri Rentang Dekat	UAV Fotogramteri
Jarak terhadap objek	100 m – 10 km	cm – 300 m	m – km
Akurasi absolut nilai orientasi awal	cm – dm	mm – m	cm – 10 m
Contoh aplikasi	Area skala besar (Pemetaan, kehutanan, pemodelan 3D kota)	Area dan objek skala kecil (dokumentasi arkeologi, pemodelan 3D bangunan)	Area skala kecil dan skala besar (dokumentasi arkeologi, pemodelan 3D bangunan)
		Fotogrametri bidang arsitektur dan industri	Pengaplikasian pada area yang susah diakses dan objek yang berbahaya
			Aplikasi <i>real-time</i> (untuk pemantauan)

Sebagai metode yang baru, UAV-fotogrametri memiliki beberapa kelebihan. UAV fotogrametri menawarkan efisiensi dalam hal waktu dan biaya disebabkan penggunaan wahana berawak pada fotogrametri udara diganti dengan wahana tanpa awak. Penggunaan UAV fotogrametri dapat disesuaikan dengan kebutuhan pemetaan. UAV dapat digunakan baik dalam skala kecil maupun skala besar dengan biaya yang bervariasi. Kelebihan UAV lainnya adalah dapat diaplikasikan pada area dengan tingkat resiko yang tinggi dan susah dijangkau dengan wahana dengan awak, seperti area bencana juga area dengan akses terbang yang sulit. Dengan kondisi atmosfer yang tidak memungkinkan wahana berawak untuk terbang, penggunaan UAV adalah pilihan yang tepat. UAV menawarkan kemampuan *real time* dan akuisisi data yang lebih cepat (Eisenbeiß, 2009).

Selain kelebihan tersebut, UAV juga memiliki keterbatasan. Karena biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan UAV lebih murah dari wahana berawak, UAV menggunakan sensor dengan biaya yang relatif murah. Umumnya, sensor tersebut tidak stabil sehingga berdampak pada kualitas gambar yang diambil. Hal tersebut ditambah dengan pemasangan alat navigasi yang ringan serta tingkat keakuratannya kecil.

UAV dapat dibagi menjadi dua, yaitu model pesawat dan model helikopter. Helikopter terbang di atas area yang disebut *area of interest* saat mengambil gambar. Data gambar tersebut tergeoreferensi menggunakan posisi GPS dan informasi kedudukan pesawat dikirim melalui sistem kontrol terbang (Eisenbeiß, 2009). Helikopter lebih cocok digunakan jika membutuhkan ruang lepas landas (*take-off*) dan pendaratan (*landing*) vertikal, sementara UAV model pesawat lebih baik digunakan untuk pemotretan dengan otonomi terbang yang panjang (Yundong, dkk., 2008). Selain itu, model helikopter dapat dioperasikan lebih dekat terhadap objek dan lebih stabil terhadap kondisi lingkungan seperti angin (Eisenbeiss, 2008). Data untuk penelitian ini diambil menggunakan wahana tanpa awak jenis helikopter, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 *Unmanned Aerial Vehicle* jenis helikopter untuk pemotretan daerah Cibubur

2.1.2 Kamera Format Kecil

Pada dasarnya, kamera dapat diklasifikasikan sebagai kamera format kecil dan format besar. Keduanya dapat digunakan pada fotogrametri udara. Semakin besar kamera, maka wahana yang dipakai juga besar. Kamera format kecil memiliki ukuran sensor 24 mm x 35 mm atau 6 cm x 6 cm. Pada umumnya kamera format kecil berupa kamera non-metrik (Warner, dkk., 1995).

Kamera non-metrik didefinisikan sebagai kamera yang tidak didesain khusus untuk tujuan fotogrametri (Karara, 1980). Kamera ini tidak disertai sertifikat kalibrasi karena dirancang

untuk tujuan fotografi. Orientasi bagian dalam kamera non-metrik tidak diketahui serta memiliki ketidakstabilan yang tinggi. Kamera digital termasuk dalam kategori kamera non-metrik. Karena materialnya yang lebih ringan serta bentuk yang kecil, kamera digital non-metrik digunakan pada UAV-fotogrametri. Selain itu, kelemahan dari kamera non-metrik adalah kurang dalam identifikasi *fiducial mark*.

Fiducial mark adalah empat atau delapan titik terdefinisi yang terletak pada ujung dan/atau sisi bingkai. Posisi dari *fiducial mark* diatur agar perpotongan dari garis-garis yang menghubungkan *fiducial mark* yang berseberangan menjadi sedekat mungkin dengan titik utama (*principal point*) lensa (Mikhail & Bethel, 2001). Titik utama adalah titik yang terbentuk pada bidang *focal* (bidang fokus seluruh berkas sinar) karena garis dari titik nodal belakang lensa kamera tegak lurus terhadap bidang *focal* dan memotong bidang *focal*.

Gambar 2.4 menunjukkan kamera metrik dan kamera non-metrik. Kamera non-metrik untuk penelitian ini adalah Sony Nex-7 dengan spesifikasi yang tertera pada **Tabel 2.2**.



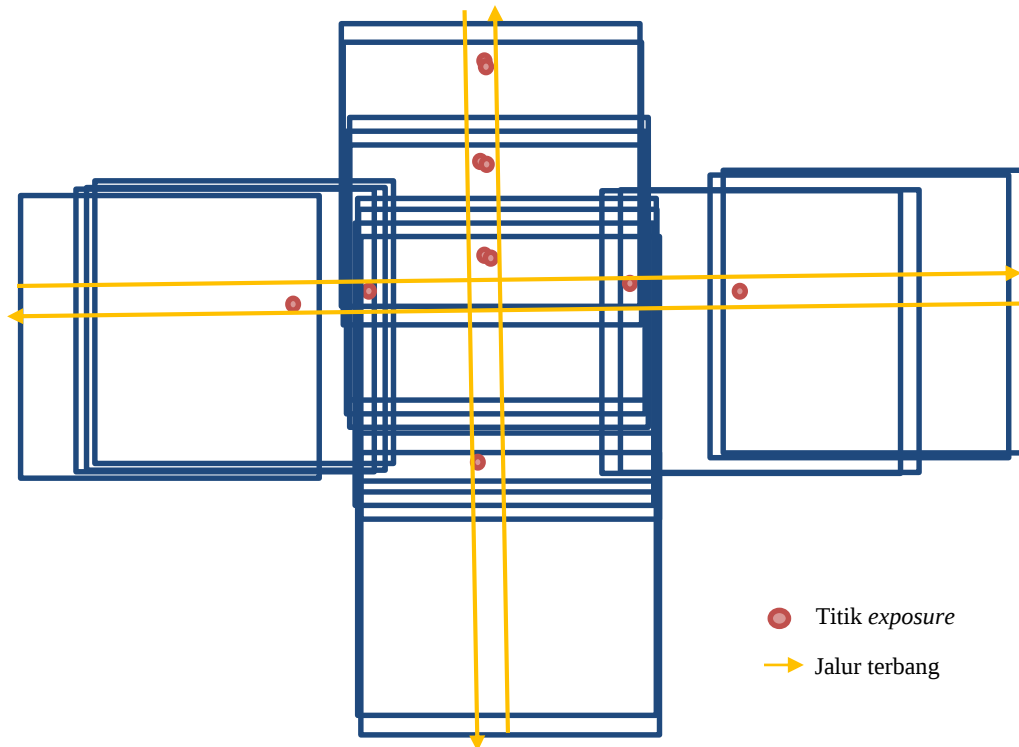
Gambar 2.4 Kamera metrik merek Leica PAV80 (a) dan kamera non-metrik merek Sony Nex-7 (b)

Tabel 2.2 Spesifikasi kamera Sony Nex-7

Panjang <i>Focal</i>	20 mm
Ukuran piksel x	3.9 mikron
Ukuran piksel y	3.9 mikron
Kolom	6000 piksel
Baris	4000 piksel
Lebar CMOS	23.4 mm

Tinggi CMOS	15.6 mm
-------------	---------

Data yang digunakan untuk penelitian ini adalah data untuk kalibrasi kamera di Cibubur. Penggunaan UAV helikopter untuk pengambilan data menghasilkan jalur terbang, pertampalan dan lokasi kamera seperti pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Pertampalan foto, lokasi kamera (*exposure*) dan jalur terbang UAV helikopter

2.1.3 Blur Pada UAV-fotogrametri

Penggunaan kamera non-metrik pada UAV-fotogrametri dengan wahana yang jauh lebih ringan dari wahana berawak, memengaruhi kestabilan posisi kamera. Angin, turbulensi, dan kendali operator adalah penyebab ketidakstabilan dalam pengambilan data dengan UAV-fotogrametri. Akan tetapi, kemampuan manuver yang baik dan kontrol terbang yang dikombinasikan dengan ketahanan, cakupan area terbang serta biaya kecil menjadikan UAV cocok diaplikasikan untuk beberapa tuntutan rentang area (Eisenbeiß, 2009).

Penggunaan teknik UAV-fotogrametri berpotensi menghasilkan *blur* akibat ketidakstabilan. Pada dasarnya, terdapat dua tipe *blur*, yaitu *blur* optik dan *motion blur*.

Sistem optik kamera dapat menyebabkan timbulnya *blur* yang disebut *blur* optik. *Motion blur* adalah jenis *blur* yang paling sering terjadi pada data UAV-fotogrametri. Tidak seperti *blur* optik yang dapat dikurangi dengan metode memfokuskan pada objek secara otomatis, *motion blur* tidak dapat dihilangkan dengan metode tersebut. *Blur* ini mengganggu proses analisis visual dan interpretasi data, menyebabkan kesalahan serta mengurangi akurasi pada algoritma pengolahan fotogrametri secara otomatis (Sieberth, dkk., 2014). **Gambar 2.6** menunjukkan *motion blur* pada data UAV-fotogrametri.



Gambar 2.6 *Motion blur* pada data kalibrasi kamera di Cibubur

Umumnya, faktor penyebab *motion blur* pada foto adalah pergerakan wahana dan guncangan kamera (*camera shake*). Guncangan kamera (*camera shake*) adalah kondisi ketidakstabilan kamera pada saat pengambilan gambar. Guncangan kamera disebabkan karena letak motor penggerak UAV yang berdekatan dengan kamera. Guncangan kamera menjadi penyebab utama *blur* pada UAV-fotogrametri jenis helikopter karena pengambilan gambar dengan helikopter dilakukan saat helikopter dalam keadaan diam pada ketinggian tertentu. Oleh sebab itu, proyek fotogrametri dengan helikopter menghasilkan konfigurasi pengambilan gambar seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.

Pemodelan untuk *blur* pada foto ditunjukkan oleh persamaan (1) (Tong, dkk., 2004).

$$G = H \times F + N \quad (1)$$

Parameter G merepresentasikan foto yang mengandung derau dan *blur*. F mewakili foto asli. Sementara itu matriks H mewakili fungsi *blur* dan N merupakan derau pada foto.

2.2 Deteksi *Blur*

2.2.1 Algoritma HWT (Harr Wavelet Transform) Untuk Deteksi Tepi

Pada transformasi *wavelet*, langkah awal yang dilakukan adalah menganalisis sinyal menggunakan *wavelet* dengan memperkirakan fungsi dari sampel. Hasil yang diperoleh berupa fungsi baru $\tilde{f}$ yang merupakan pendekatan fungsi sampel f . HWT menjelaskan fungsi pendekatan $\tilde{f}$ dengan mengganti sepasang langkah yang berdekatan oleh satu langkah yang lebih lebar dan satu *wavelet*. Langkah yang lebih lebar ini mengukur perbedaan antara beberapa pasang langkah awal. Model untuk HWT ditunjukkan pada persamaan (1) (Nievergelt, 1999).

$$s_0 \cdot \varphi\left[0, \frac{I}{2}\right] + s_1 \cdot \varphi\left[\frac{I}{2}, I\right] = \tilde{f} = \frac{s_0 + s_1}{2} \cdot \varphi_{[0, I]} + \frac{s_0 - s_1}{2} \cdot \psi_{[0, I]} \quad (1)$$

Dua nilai sampel s_0 dan s_1 merupakan nilai (amplitudo, tinggi) dari fungsi $\tilde{f}$ pada r_0 dan r_1 . Hasil dari transformasi tersebut sebagai berikut:

1. Operasi $\frac{s_0 + s_1}{2}$ yang mewakili rata-rata dari fungsi $\tilde{f}$,
2. Operasi $\frac{s_0 - s_1}{2}$ yang mewakili perubahan fungsi $\tilde{f}$.

(Nievergelt, 1999)

Transformasi *wavelet* dikenal akan kemampuannya dalam analisis multi-resolusi (Tong, dkk., 2004). HWT diaplikasikan dengan berbagai tingkat dekomposisi. Dekomposisi untuk deteksi *blur* diterapkan pada tingkat 3. Dekomposisi citra tingkat 3 ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

LL ₃	HL ₃	HL ₂	HL ₁ : <i>Horizontal Detail</i>
LH ₃	HH ₃		
LH ₂		HH ₂	
LH ₁ : <i>Vertical Detail</i>			HH ₁ : <i>Diagonal Detail</i>

Gambar 2.7 Dekomposisi citra tingkat 3 (Fergus, dkk., 2006)

Dekomposisi citra membentuk piramida citra dengan sub-kanal yang berhubungan. HH₁ adalah horizontal *high-pass*/vertikal *high-pass*. HL₁ adalah horizontal *high-pass*/vertikal *low-pass*. LH₁ adalah horizontal *low-pass*/vertikal *high-pass*. LL₁ adalah horizontal *low-pass*/vertikal *low-pass* (Fergus, dkk., 2006)

Pada pengolahan citra, langkah yang harus dilakukan adalah membentuk *edge map* (*Emap*) untuk tiap-tiap skala yang ditunjukkan oleh persamaan (2) (Tong, dkk., 2004).

$$Emap_i(k,l) = \sqrt{LH_i^2 + HL_i^2 + HH_i^2} \quad (2)$$

Langkah berikutnya, membagi-bagi *Emap* dan menentukan *local maxima* untuk tiap jendela. Ukuran dari jendela adalah pada skala tertinggi, yaitu 2 x 2, untuk skala yang lebih kasar sebesar 4 x 4, dan yang paling kasar berukuran 8 x 8. Pada algoritma ini, *Emax_i* merepresentasikan intensitas tepi. Semakin besar nilai *Emax_i*, semakin besar intensitas tepi. Apabila diberi pembatasan (*threshold*), maka pada kondisi *Emax_i(k,l) > threshold*, (k,l) didefinisikan sebagai tepi.

2.2.2 Deteksi Tepi untuk Deteksi *Blur*

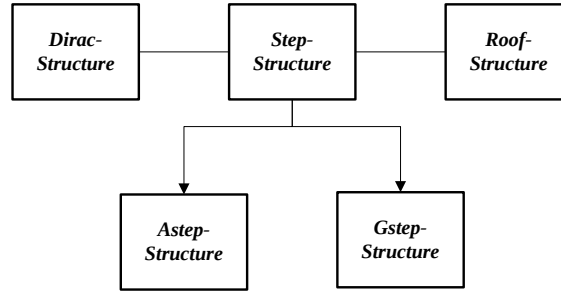
Fotogrametri didefinisikan sebagai pencarian posisi, orientasi, bentuk, dan ukuran objek dari gambar (Kraus, 2007). Pencarian ini didukung dengan pengukuran koordinat objek yang terdapat pada gambar, yang didasarkan pada deteksi tepi objek-objek pada gambar yang bertampalan. Pada foto yang bertampalan, tepi dapat menghilang (tak terdeteksi) sehingga mengubah posisi objek menjadi sulit untuk diidentifikasi.

Unsur-unsur mirip yang terdeteksi pada dua foto bertampalan dapat direferensikan satu sama lain menggunakan pencocokan citra dengan metode kuadrat terkecil atau metode lainnya (Brown, 1992). Unsur yang mirip tersebut dapat tampak berbeda di gambar yang *blur* sehingga proses pencocokan mengalami kesulitan.

Ada dua metode dalam deteksi *blur*, yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Metode tidak langsung didasarkan pada merekonstruksi fungsi *blur H* yang tidak diketahui sehingga menghasilkan parameter untuk identifikasi *blur* dan estimasi *blur*. Sementara itu, konsep metode langsung adalah menentukan tingkat *blur* dengan mengeliminasi unsur-unsur diskriminatif, salah satunya tepi.

Salah satu metode deteksi *blur* yang diterapkan adalah metode analisis keganjilan multi skala yang menggunakan transformasi *wavelet*. Transformasi ini menghasilkan koefisien secara tepat (presisi) pada gambar yang intensitasnya bervariasi secara lokal. Transformasi *wavelet* diaplikasikan untuk karakterisasi tepian *blur* menggunakan analisis multi resolusi (Kerouh & Serir, 2011).

Pada deteksi *blur* transformasi *wavelet* Harr, gambar-gambar dianalisis tipe tepi untuk mendeteksi keberadaan *blur* pada gambar dan menentukan tingkat *blur* dengan analisis ketajaman tepi. Transformasi *wavelet* Harr memiliki kelebihan dalam melakukan diferensiasi tiap tepi dan juga memperbaiki ketajaman gambar *blur*. Oleh karena itu metode ini cocok digunakan untuk jenis *blur* akibat ketidakfokusan lensa serta *blur* akibat pergerakan linear. **Gambar 2.8** menunjukkan tipe tepi pada foto natural.



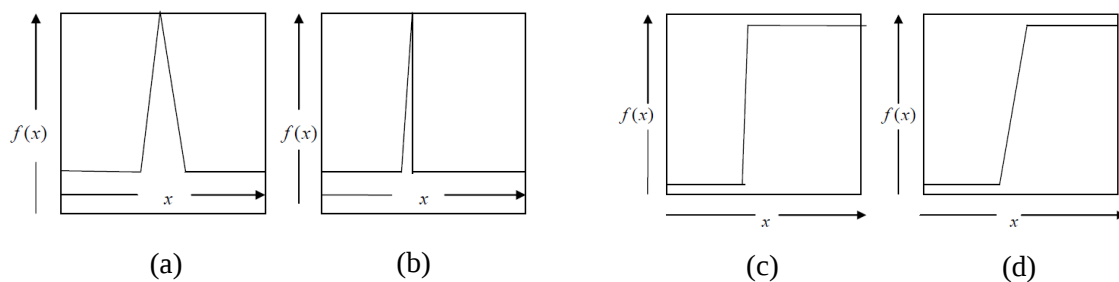
Gambar 2.8 Diagram tipe tepi (Tong, dkk., 2004)

Dirac-structure, *Step-structure*, *Roof-structure* adalah tiga struktur geometrik dasar tepi. *Step-structure* diklasifikasikan menjadi dua, yaitu *Gstep-structure* dan *Astep-structure*. Pembagian ini didasarkan pada perubahan intensitas piksel yang bertahap atau mendadak. Ketiga tipe tepi memiliki nilai α yang berbeda. Parameter α mengindikasikan ketajaman tepi. Perbedaan nilai α ditunjukkan sebagai berikut:

1. *Step-structure* dengan nilai $\alpha = 0$,
2. *Dirac-structure* dengan nilai $\alpha = 1$,
3. *Roof-structure* dengan nilai $\alpha = -1$.

(Ramakrishnan, 2010)

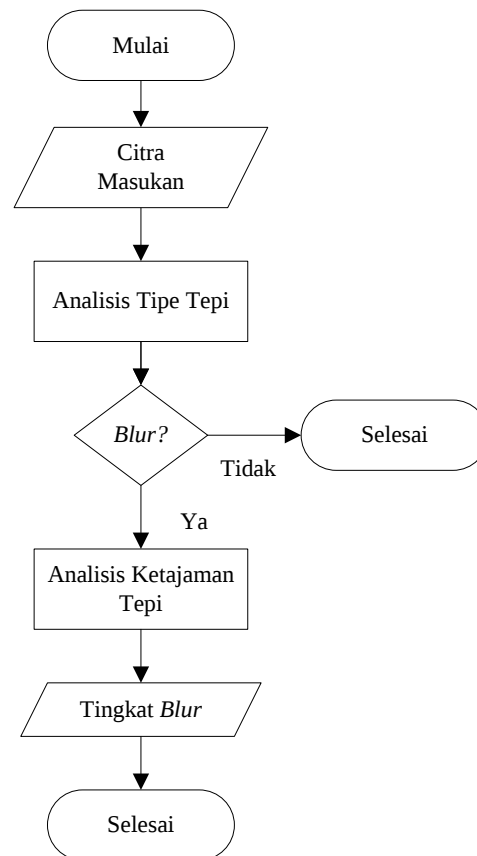
Perbedaan karakteristik tersebut memengaruhi bentuk histogram tepi. **Gambar 2.9** menunjukkan perbedaan profil tiap tipe tepi.



Gambar 2.9 Perbedaan profil tepi *roof-structure* (a), *dirac-structure* (b), *Astep-structure* (c) dan *Gstep-structure* (Ramakrishnan, 2010)

Pada umumnya, gambar asli tanpa *blur* memiliki keseluruhan tipe tepi, ditambah dengan *Roof-structure* dan *Gstep-structure* yang tajam. Ketika gambar menjadi *blur* disebabkan

ketidakfokusan kamera dan pergerakan linear, baik *Dirac-structure* dan *Astepstructure* akan menghilang. Sementara itu, *Gstep-structure* dan *Roof-structure* kehilangan ketajamannya. Pada proses pendeteksian *blur*, gambar kabur akan dianalisis keberadaan *Dirac-structure* dan *Astep-structure* sementara *Gstep-structure* dan *Roof-structure* digunakan untuk menentukan tingkat kekaburan gambar. Skema pendeteksian *blur* ditunjukkan oleh **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Diagram alir deteksi tepi dengan HWT (Tong, dkk., 2004)

Gambar yang memiliki *blur* diberi operasi konvolusi untuk merubah struktur tepi. Pada kondisi ini, parameter N yaitu derau dapat diabaikan. Derau merupakan pencilan data atau data observasi yang muncul dengan nilai ekstrem. Pada citra, munculnya data ekstrem ini dapat berupa unsur penting di lapangan sehingga derau dapat diabaikan. **Tabel 2.3** adalah hasil analisis perbandingan antara gambar asli dengan yang versi *blur*.

Tabel 2.3 Perbandingan struktur tepi pada foto asli dan foto setelah diberi *blur* (Tong, dkk., 2004)

Original	Setelah <i>Blur</i>	Perubahan nilai α
<i>Dirac-structure</i>	<i>Roof-structure</i>	-
<i>Astep-structure</i>	<i>Gstep-structure</i>	-
<i>Gstep-structure</i>	<i>Gstep-structure</i>	Lebih kecil
<i>Roof-structure</i>	<i>Roof-structure</i>	Lebih kecil

Penerapan HWT pada citra diikuti oleh lima aturan berikut (Tong, dkk., 2004):

Peraturan 1: jika $E_{max_1}(k,l) > threshold$ atau $E_{max_2}(k,l) > threshold$ atau $E_{max_3}(k,l) > threshold$, (k, l) adalah titik tepi.

Peraturan 2: Untuk beberapa titik tepi (k, l) , jika $E_{max_1}(k,l) > E_{max_2}(k,l) > E_{max_3}(k,l)$, (k, l) adalah *Dirac-structure* atau *Astep-structure*.

Peraturan 3: Untuk beberapa titik tepi (k, l) , jika $E_{max_1}(k,l) < E_{max_2}(k,l) < E_{max_3}(k,l)$, (k, l) adalah *Roof-structure* atau *Gstep-structure*.

Peraturan 4: Untuk beberapa titik tepi (k, l) , jika $E_{max_2}(k,l) > E_{max_1}(k,l)$ dan $E_{max_2}(k,l) > E_{max_3}(k,l)$, (k, l) adalah *Roof-structure*.

Peraturan 5: Untuk beberapa titik tepi *Gstep-structure* atau *Roof-structure*, jika $E_{max_1}(k,l) > threshold$, (k, l) cenderung gambar kabur.

Berdasarkan lima peraturan berikut, maka perhitungan tingkat *blur* ditunjukkan pada persamaan (3).

$$Blur\ extent = \frac{N_{brg}}{N_{rg}} \quad (3)$$

N_{rg} mewakili jumlah seluruh titik tepi *Roof-structure* dan *Gstep-structure* dan N_{brg} adalah total titik tepi *Roof-structure* dan *Gstep-structure* yang telah kehilangan ketajamannya.

Pada praktiknya, *threshold* diatur pada nilai intensitas 35. Hal ini disebabkan kemampuan mata manusia tidak dapat melihat pada intensitas dibawah 30.

2.3 Perbaikan Citra untuk Menghilangkan *Blur*

2.3.1 Operasi Matematis Pada Citra

Blur pada foto yang disebabkan oleh guncangan kamera menjadi tantangan tersendiri dalam proses perbaikannya. Umumnya, parameter *blur kernel* tidak diketahui sehingga diperlukan estimasi besarnya ukuran kernel. Ukuran *kernel* mempengaruhi dalam proses penghilangan *blur*. *Blur* yang kecil akan sulit dihilangkan dengan *kernel* yang besar (Fergus, dkk., 2006). Oleh karena itu, perlu pendekatan yang tepat dalam menentukan ukuran *kernel*.

Kernel adalah matriks angka 2-dimensi. *Kernel* dapat diilustrasikan sebagai matriks 3 x 3 seperti pada **Gambar 2.11**.

0,111	0,111	0,111
0,111	0,111	0,111
0,111	0,111	0111

Gambar 2.11 *Kernel* 3 x 3 (Cope, n.d.)

Untuk deteksi tepi horizontal dan vertikal, *kernel* dapat diilustrasikan pada **Gambar 2.12**.

$$K_h = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad K_v = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Gambar 2.12 *Kernel* untuk deteksi tepi horizontal dan vertikal (Sung, 2013)

Setiap nilai yang tersimpan dalam *kernel*, secara langsung berhubungan dengan hasil dari pengaplikasian *filter*. Oleh karena itu, *filter* dikarakterisasikan oleh matriks *kernel*-nya.

Setiap gambar terdiri dari matriks angka yang disebut juga piksel. Dalam satu piksel terdapat angka yang merepresentasikan warna, atau disebut juga angka digital (*digital number*). Pada citra RGB 8 bit, tiap piksel terdiri dari komponen merah, hijau, dan biru yang ditunjukkan pada angka digital 0 hingga 255. Sebuah *kernel* bekerja dengan mengoperasikan secara matematis nilai piksel menggunakan untuk membuat citra yang baru. Matriks dari gambar baru bergantung pada nilai dari *kernel*.

Konvolusi dan dekonvolusi merupakan operasi matematis yang biasanya digunakan pada pengolahan citra. Pada konsep matematis, konvolusi merujuk pada pembobotan rata-rata berkesinambungan dari suatu fungsi terhadap fungsi lainnya yang efektif dalam menyelesaikan persamaan diferensial dan integral (Nievergelt, 1999). Pada konvolusi, operasi dari dua matriks akan menghasilkan matriks baru. Konvolusi dua fungsi didefinisikan pada persamaan (3) (Nievergelt, 1999).

$$h(x) = f(x) \times g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(a) g(x-a) da \quad (3)$$

Pada data diskrit, fungsi untuk konvolusi ditunjukkan pada persamaan (4) (Liu, 2009).

$$h(x) = f(x) \times g(x) = \sum_{a=-\infty}^{\infty} f(a) g(x-a) \quad (4)$$

Operasi matematis tersebut dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2.13**.

0,111	0,111	0,111	10	20	13	0,11 x 10 = 1	0,11 x 20 = 2	0,11 x 13 = 1
0,111	0,111	0,111	19	25	16	0,11 x 19 = 2	0,11 x 25 = 3	0,11 x 16 = 2
0,111	0,111	0,111	22	26	21	0,11 x 22 = 2	0,11 x 26 = 3	0,11 x 21 = 2

Gambar 2.13 Operasi matematis (konvolusi) pada citra atau foto (Cope, n.d.)

Tabel kiri adalah *kernel* 3 x 3 dan tabel tengah adalah piksel yang berisi angka digital yang merepresentasikan warna. Dengan operasi matematis perkalian, dihasilkan citra atau gambar yang baru (tabel kanan). Setiap piksel yang diproses didasarkan pada penghitungan nilai.

2.3.2 Rekonstruksi Citra

Dalam kaitannya dengan konvolusi, algoritma foto *blur* ditunjukkan pada persamaan (5) (Fergus, dkk., 2006).

$$B = K \otimes L + N \quad (5)$$

Untuk memulihkan foto dari *blur*, parameter yang dibutuhkan adalah *kernel* hasil estimasi yang kemudian diaplikasikan pada metode dekonvolusi. Foto *blur* (*B*) didapat dari

konvolusi antara *kernel* (K) dan foto laten (L) ditambah derau (N). Dengan mengestimasi *blur kernel*, dilakukan proses dekonvolusi untuk perbaikan citra. Metode dekonvolusi berfungsi untuk mencari L dengan melibatkan parameter *blur kernel*.

2.4 Proses Triangulasi Udara

2.4.1 Triangulasi Udara

Triangulasi udara merupakan suatu tahapan yang sangat penting dalam pemetaan menggunakan teknik fotogrametri. Triangulasi udara menjadi faktor terbesar dalam meningkatkan *economic feasibility* dalam pemetaan fotogrametri. Tanpa triangulasi udara, setiap stereo model akan membutuhkan dua titik kontrol horizontal dan titik kontrol vertikal dalam proses orientasi absolut. Sementara itu, untuk melakukan restitusi foto stereo diperlukan minimal empat titik kontrol tanah (X, Y, Z) pada setiap foto dengan tambahan *check point*. Jumlah titik kontrol dan *check point* yang sangat banyak tersebut membutuhkan biaya survei yang cukup mahal (Mikhail & Bethel, 2001). Triangulasi udara dilakukan untuk memperbanyak titik kontrol tanah yang diperlukan dalam proses pengolahan fotogrametrik, sehingga jumlah titik kontrol tanah yang dihasilkan melalui pengukuran lapangan dapat dibatasi (berjumlah sedikit) dan hanya terdapat pada beberapa foto udara,. Triangulasi udara dilakukan untuk memenuhi kebutuhan titik kontrol tanah tersebut sehingga menghemat biaya dan waktu jika dibandingkan dengan pengadaan titik kontrol tanah melalui pengukuran lapangan (Wolf, 1993).

Proses triangulasi udara disebut juga tahap *align* foto atau penggabungan foto. Penggabungan ini didasarkan pada deteksi otomatis karakteritik titik atau unsur pada sebuah foto. Setelah proses deteksi, poses berlanjut pada tahap pencocokan citra (*image matching*).

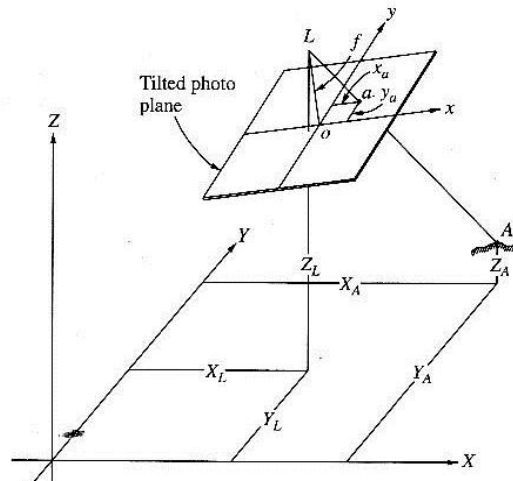
2.4.1.1 *Pencocokan Citra*

Pencocokan citra dilakukan dengan menempatkan titik titik yang sama pada dua buah foto yang saling bertampalan dan merepresentasikannya dalam bentuk *point cloud* yang telah memiliki koordinat ruang 3D, baik koordinat lokal maupun sesuai koordinat tanah.

Komputer mengenali objek atau titik yang sama berdasarkan nilai piksel pada kedua foto stereo. Pencarian nilai piksel dilakukan dengan *moving window* yang terdiri dari beberapa piksel dan mencari area piksel dengan korelasi paling tinggi. Semakin kecil jendela pencarian, maka semakin teliti pencocokan citra yang dihasilkan.

2.4.1.2 Kesegaran, Reseksi dan Interseksi

Konsep kesegaran adalah kondisi saat titik pusat proyeksi, titik pada foto, dan titik pada tanah terletak pada satu garis sejajar seperti yang terlihat pada **Gambar 2.14**. Prinsip kesegaran ini digunakan untuk mengetahui posisi kamera karena posisi titik dalam suatu model tiga dimensi, koordinatnya pada foto dan titik utama kamera berada pada satu garis lurus (Wolf & Dewitt, 2000)



Gambar 2.14 Ilustrasi konsep kesegaran (Wolf & Dewitt, 2000)

Setiap titik pada foto memiliki dua persamaan kesegaran yang didefinisikan koordinatnya pada foto. Secara matematis, hubungan ini dinyatakan oleh persamaan (6) dan (7)

$$x_a = \frac{-f[r_{11}(X_0 - X_A) + r_{12}(Y_0 - Y_A) + r_{13}(Z_0 - Z_A)]}{[r_{31}(X_0 - X_A) + r_{32}(Y_0 - Y_A) + r_{33}(Z_0 - Z_A)]} \quad (6)$$

$$y_a = \frac{-f[r_{21}(X_0 - X_A) + r_{22}(Y_0 - Y_A) + r_{23}(Z_0 - Z_A)]}{[r_{31}(X_0 - X_A) + r_{32}(Y_0 - Y_A) + r_{33}(Z_0 - Z_A)]} \quad (7)$$

Keterangan:

x_a, y_a : koordinat objek pada sistem koordinat foto

X_0, Y_0, Z_0 : koordinat titik eksposur pada sistem koordinat ruang
 X_A, Y_A, Z_A : koordinat objek pada sistem koordinat ruang
 r_{nm} : matriks rotasi baris ke m kolom ke n
 f : focal length

Perataan berkas atau disebut juga *bundle adjustment* merupakan proses dalam fotogrametri untuk menghasilkan koordinat X, Y, Z dari semua titik kontrol dan titik cek tanah yang diukur. Perataan berkas dilakukan agar model yang terbentuk dapat terorientasi pada tanah.

Proses perataan berkas terbagi menjadi proses reseksi dan proses interseksi. Proses reseksi merupakan suatu proses untuk menentukan posisi dari foto dan parameter orientasi luar ($\omega, \phi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$) dalam sistem koordinat ruang. Untuk menentukan parameter tersebut dilakukan perhitungan menggunakan kuadrat terkecil. Parameter orientasi luar ini digunakan untuk menentukan posisi kamera pada ruang dan dalam persamaan kesegarisan diwakili oleh matriks rotasi (r). Proses reseksi dengan kolinearitas merupakan metode yang lebih disukai untuk menentukan unsur orientasi luar (Wolf, 1993)

Proses interseksi merupakan suatu proses untuk menentukan koordinat titik-titik pada objek yang saling bertampalan sehingga didapatkan posisi secara 3D (X_A, Y_A, Z_A). Ketiga parameter ini merupakan koordinat 3D ruang dari titik sekutu yang terfoto pada minimal dua foto yang saling bertampalan (Cooper & Robson, 1996). Proses ini membutuhkan enam parameter orientasi luar yang diketahui untuk dua foto yang bertampalan. Nilai koordinat objek dalam ruang tiga dimensi ini dapat dihitung menggunakan persamaan kesegarisan yang telah dilinierisasi.