

ANALISA TERHADAP REKABENTUK BINGKAI KALIBRASI BAGI KAMERA
DIGITAL UNTUK FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT

FAZLI BIN ABDUL RAHMAN

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik)

Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia

MEI 2006

ABSTRAK

Fotogrammetri jarak dekat adalah suatu kaedah yang mudah dan cepat yang boleh digunakan untuk mendapatkan dimensi-dimensi objek daripada imej-imej yang diperolehi dengan menggunakan kamera. Kamera yang digunakan dalam fotogrammetri boleh diklasifikasikan kepada dua jenis iaitu kamera metrik dan kamera bukan metrik. Perbezaan diantara kedua-dua jenis kamera ini ialah kestabilan parameter orientasi dalaman mereka. Kamera metrik mempunyai parameter orientasi dalaman yang sangat stabil berbanding dengan kamera bukan metrik. Dalam kajian ini, kamera bukan metrik digunakan untuk menganalisa rekabentuk bingkai kalibrasi bagi mendapatkan parameter orientasi dalamannya. Rekabentuk bingkai adalah berdasarkan bilangan dan saiz sasaran yang optimum. Sejumlah tiga bingkai kalibrasi kamera telah digunakan dalam kajian ini. Parameter orientasi dalaman bagi dua buah kamera digital iaitu Kodak DC290 dan Canon IXUS S400 telah ditentukan. Perisian yang digunakan untuk melakukan kalibrasi ialah Australis 5.0. Hasil kajian ini menunjukkan bahawa bilangan sasaran optimum yang diperlukan untuk menghasilkan ketepatan 1:15,000 ialah 53 sasaran yang bersaiz 3 mm. Hasil kajian ini disahkan dengan menggunakan dua sistem bebas dan perbezaan yang diperolehi ialah $\pm 0.05\text{mm}$. Dalam kajian ini dapatlah disimpulkan bahawa bingkai kalibrasi yang direkabentuk sesuai digunakan untuk tujuan kalibrasi kamera bukan metrik dengan ketepatan yang tinggi.

ABSTRACT

Close range photogrammetry is an easy and swift method to obtain the dimensions of objects from images captured by cameras. The types of cameras used in photogrammetry can be classified into two, namely, metric and non-metric. The difference between these two types of cameras is the stability of their inner orientation parameters. Metric cameras have very stable inner orientation parameters compared to non-metric cameras. This research employed the use of non-metric cameras to analyse the design of a calibration frame in order to determine their inner orientation parameters. The designed of the frame is based on the optimum number of points and target sizes. In total, three camera calibration frames have been used in this study. The inner orientation parameters of a Kodak DC290 and Canon IXUS S400 were determined. The software used to perform the calibration was Australis 5.0. Results have shown that an optimum number of points required to produce accuracy 1:15,000 is 53 with 3 mm target sizes. Validation of the results was done using independent systems and the difference, $\pm 0.05\text{mm}$. It is therefore can be concluded that the calibration frame designed in this study is suitable to be used for calibrating non-metric cameras with high accuracy.

KANDUNGAN

BAB	PERKARA	HALAMAN
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xi
	SENARAI RAJAH	xiv
	SENARAI ISTILAH	xix
	SENARAI SIMBOL	xx
	SENARAI LAMPIRAN	xxi
1	Pengenalan	1
	1.1 Latarbelakang	1
	1.2 Pernyataan masalah	4
	1.3 Objektif kajian	8
	1.4 Skop kajian	8
	1.5 Kepentingan kajian	10
	1.6 Metodologi kajian	11
2	FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT DIGITAL	14
	2.1 Pendahuluan	14
	2.2 Fotografi digital	15
	2.2.1 Carakerja kamera digital	16
	2.2.2 Penderia kamera	17
	2.2.3 Istilah dalam imej digital	20

2.3	Fotogrametri jarak dekat	23
2.3.1	Penyelesaian umum bagi fotogrametri jarak dekat.	24
2.3.2	Aplikasi fotogrametri jarak dekat digital.	27
2.4	Perisian fotogrammetri jarak dekat	34
2.4.1	PhotoModeler	35
2.4.2	Australis	36
2.4.3	Sistem V-STARS	36
3	KALIBRASI KAMERA	38
3.1	Pendahuluan	38
3.2	Parameter kamera	39
3.2.1	Jarak fokus	40
3.2.2	Kedudukan titik utama	42
3.2.3	Herotan jejarian	43
3.2.4	Herotan pemusatan	45
3.3	Kaedah kalibrasi	47
3.3.1	Kaedah kalibrasi <i>On-the-job</i>	48
3.3.2	Kaedah <i>Self-Calibration</i>	49
3.3.3	Kaedah <i>Analytical Plumb-line</i>	51
3.4	Rekabentuk bingkai kalibrasi	52
3.4.1	Bilangan sasaran	54
3.4.2	Saiz sasaran	58
3.4.3	Jenis sasaran	61
4	METODOLOGI	63
4.1	Pengenalan	63
4.2	Kaedah mengesan <i>outlier</i>	64
4.3	Analisa statistik	66
4.3.1	Ujian $-t$	66
4.3.2	Regresi (<i>regression</i>)	68
4.4	Ketepatan pengukuran	70

4.5	Kejituan pengukuran	72
4.6	Kaedah pemprosesan perisian Australis	72
4.7	Bingkai kalibrasi pertama	81
4.8	Bingkai kalibrasi kedua	85
	4.8.1 Perbandingan antara Australis dan V-STARS	88
	4.8.2 Perbandingan antara Australis dan PhotoModeler	91
	4.8.3 Ujian bilangan sasaran	94
	4.8.4 Kajian saiz sasaran	97
4.9	Bingkai kalibrasi ketiga	99
	4.9.1 Ujian bilangan sasaran	104
	4.9.2 Ujian saiz sasaran	108
	4.9.3 Perbezaan diantara bingkai rata dan bingkai yang mempunyai kedalaman	109
	4.9.4 Menguji parameter minimum untuk kalibrasi kamera	110
5	HASIL DAN ANALISA	112
5.1	Pengenalan	112
5.2	Bingkai kalibrasi kedua	113
	5.2.1 Perbandingan antara Australis dan V-STARS	113
	5.2.2 Perbandingan antara Australis dan PhotoModeler	116
	5.2.3 Ujian bilangan sasaran	120
	5.2.4 Saiz sasaran	126
5.3	Bingkai kalibrasi ketiga	128
	5.3.1 Cerapan jarak empat titik menggunakan sistem XYZ	128
	5.3.2 Ujian bilangan sasaran	131
	5.3.3 Ujian saiz sasaran	134
	5.3.4 Perbezaan diantara bingkai rata dan bingkai yang mempunyai kedalaman.	138
	5.3.5 Menguji parameter minimum untuk kalibrasi kamera.	141
	5.3.6 Nilai min parameter setelah lima parameter ditetapkan	144

6 KESIMPULAN DAN CADANGAN	146
6.1 Kesimpulan	146
6.2 Cadangan	151
RUJUKAN	153
LAMPIRAN A – L	158 - 225

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	HALAMAN
1.1	Kelebihan dan kekurangan kamera bukan metrik.	3
2.1	Perbezaan antara CCD dan CMOS.	19
2.2	Perbezaan diantara format RAW, TIFF dan JPEG.	22
2.3	Perbezaan antara Australis, PhotoModeler dan V-STARS	34
3.1	Ciri-ciri utama kaedah <i>on-the-job</i> dan self-calibration.	50
3.2	Hubungkait antara imej, sasaran dan kamera dengan parameter anu.	56
3.3	Darjah kebebasan.	56
4.1	Cara data disusun.	71
4.2	Format untuk memasukkan koordinat anggaran.	78
4.3	Bilangan sasaran dan jarak yang digunakan.	95
5.1	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan pengukuran V-STARS dan Australis.	114
5.2	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak diantara V-STARS dan Australis setelah melalui tapisan untuk membuang <i>outlier</i> .	115
5.3	Parameter kamera dan nilai <i>scalebar</i> daripada PhotoModeler	117
5.4	Parameter kamera dan nilai <i>scalebar</i> daripada Australis	117
5.5	Nilai <i>ujian-t</i> statistik.	118

5.6	Perbezaan nilai pengukuran kedua-dua perisian dengan <i>scalebar</i> .	119
5.7	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak antara Australis dan V-STARS bagi sasaran 9, 18, 36, 54, 78 dan 81.	120
5.8	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak antara Australis dan V-STARS bagi sasaran 169, 243, 351, 477, 547 dan 729.	120
5.9	Nilai pemprosesan daripada Australis bagi sasaran 9, 18, 36, 54, 78 dan 81.	123
5.10	Nilai pemprosesan daripada Australis bagi sasaran 169, 243, 351, 477, 547 dan 729.	123
5.11	Nilai perbezaan beserta dengan nilai min, varians dan sisihan piawai.	126
5.12	Hasil pemprosesan Australis.	127
5.13	Cerapan jarak daripada sistem AXYZ.	129
5.14	Lima set cerapan secara rawak untuk memeriksa nilai <i>scalebar</i> .	130
5.15	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak antara Australis dan AXYZ bagi sasaran 10, 16, 24, 34, 46 dan 53.	131
5.16	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak antara Australis dan AXYZ bagi sasaran 60, 68, 76, 85, 94 dan 104.	131
5.17	Nilai pemprosesan daripada Australis bagi sasaran 10, 16, 24, 34, 46 dan 53.	133
5.18	Nilai pemprosesan daripada Australis bagi sasaran 60, 68, 76, 85, 94 dan 104.	133
5.19	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak.	135
5.20	Hasil pemprosesan dari Australis.	137

5.21	Perbezaan jarak diantara Australis dan AXYZ (bingkai kalibrasi rata).	139
5.22	Perbezaan jarak antara Australis dan AXYZ (bingkai kalibrasi yang mempunyai kedalaman)	139
5.23	Nilai min, varians dan sisihan piawai bagi bingkai kalibrasi rata dan bingkai kalibrasi yang mempunyai kedalaman.	140
5.24	Nilai sigma bagi bingkai kalibrasi rata dan bingkai kalibrasi yang mempunyai kedalaman.	141
5.25	Cerapan pengukuran jarak yang dilakukan.	142
5.26	Beza pengukuran jarak diantara Australis dengan AXYZ.	143
5.27	Nilai min bagi Sigma hasil pemprosesan Australis.	143
5.28	Nilai min, varians dan sisihan piawai parameter minimum.	144
5.29	Nilai min, varians dan sisihan piawai parameter yang ditetapkan.	144

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1	Jenis-jenis kamera, (a) kamera autofokus 35mm, (b) kamera SLR, (c) kamera digital, (d) kamera polaroid, (e) kamera instamatik, (f) kamera cakera dan (g) kamera TLR.	2
1.2	Kedudukan aberasi sfera.	5
1.3	Aberasi koma yang menunjukkan imej berbentuk komet.	5
1.4	(a) Kedudukan dua satah fokus yang berlainan bagi objek ufuk dan timbul dan (b) pengaruh sudut ke atas astigmatism.	6
1.5	Lengkungan lapangan yang menjadikan objek rata kelihatan melengkung pada satah imej.	6
1.6	(a) Imej tanpa herotan, (b) imej yang mempunyai herotan berbentuk pin (<i>pincushion</i>) dan (c) imej yang mempunyai herotan berbentuk tong (<i>barrel</i>).	7
1.7	Cartalir metodologi kajian.	13
2.1	Cara kamera digital berfungsi.	17
2.2	CCD yang terdapat dalam sesebuah kamera digital.	18
2.3	(a) Foto penderia jenis CCD (<i>charged coupled device</i>) dan (b) CMOS (<i>complementary metal oxide semiconductor</i>).	19
2.4	Geometri bagi persamaan “ Kekolinearan ” bumi.	24

2.5	Tiga urutan putaran ϕ, κ, ω yang berputar pada asalan dan mengubah kedudukan paksi.	26
2.6	Imej tiga dimensi bangunan Bet Giorgis dalam bentuk model VRML.	28
2.7	(a) Pandangan penjuru Zurich City Hall dari arah barat daya. (b) 15 imej yang diambil menggunakan kamera Olympus D1400L secara penumpuan dan bercampur antara gambar normal dan berorientasi.	29
2.8	Dua buah kamera yang telah di skru pada badan bot beserta dengan bingkai titik kawalan.	31
2.9	Imej aliran angin yang dapat dilihat apabila alirannya mengenai pancaran laser, asap dan kertas.	32
2.10	Tiga buah kamera yang diletakkan pada satu bingkai tiga segi yang menetapkan jarak diantara ketiga-tiga kamera tersebut.	33
3.1	Geometri orientasi dalaman.	41
3.2	(a) Rajah menunjukkan imej garisan yang tidak mempunyai herotan, (b) herotan <i>pincushion</i> dan (c) herotan barrel.	44
3.3	Kamera yang tidak mempunyai herotan pemusatan (atas) dan kamera yang mempunyai herotan pemusatan (bawah).	46
3.4	Contoh medan kalibrasi <i>analytical plumb-line</i> .	51
3.5	Bingkai kalibrasi untuk penyelidikan mengukur luka.	52
3.6	Bingkai kalibrasi yang digunakan untuk merekabentuk kembali mesin di kilang.	53
3.7	Bingkai kalibrasi yang digunakan untuk memodelkan muka.	53
3.8	Objek kalibrasi yang mempunyai <i>coded targets</i> .	54
3.9	Bingkai kalibrasi yang mempunyai sembilan titik sasaran beserta dengan tiga stesen kamera dan satu jenis kamera.	55
3.10	Sudut yang besar antara kamera mengurangkan ralat.	57

3.11	Sudut yang kecil antara kamera menambahkan lagi ralat.	57
3.12	Perbezaan antara saiz sasaran yang kecil dan besar dalam grid piksel.	58
3.13	Kesan kesengetan. (a) Sasaran bulat, (b) sasaran bulat yang mempunyai kesan kesengetan.	59
3.14	Gambarajah yang menunjukkan rumus skala.	60
3.15	(a) Sasaran retro-reflektif dan (b) sasaran biasa.	62
4.1	Kedudukan kuartil	64
4.2	Rajah <i>boxplot</i> dan kedudukan <i>outlier</i> .	66
4.3	Kedudukan nilai <i>correlation coefficient</i> .	69
4.4	Paparan utama perisian Australis.	73
4.5	Paparan untuk memasukkan parameter kamera	74
4.6	Paparan untuk memasukkan nilai <i>scalebar</i> .	75
4.7	Contoh satu set cerapan yang telah siap diproses.	76
4.8	Paparan untuk memasukkan koordinat anggaran.	77
4.9	Butang <i>driveback</i> dan satu imej untuk proses penandaan titik sasaran.	79
4.10	Paparan hasil pelarasan.	80
4.11	Data kamera yang telah dikemaskini oleh Australis selepas pelarasan.	80
4.12	Bingkai kalibrasi pertama.	82
4.13	Bingkai kalibrasi yang pertama pada peringkat permulaan.	82
4.14	Kedudukan skru yang berkilat dan hampir dengan sasaran menyebabkan perisian Australis tidak dapat mengenali sasaran.	83
4.15	Cat latarbelakang bersinar apabila terkena lampu kamera.	84
4.16	Cartalir porses menggunakan bingkai kalibrasi pertama	84
4.17	Bingkai kalibrasi kedua.	85
4.18	Bongkah <i>plywood</i> yang mengandungi 9 sasaran.	86
4.19	Tiga batang skru yang menyokong bongkah <i>plywood</i> .	86

4.20	Cartalir proses menggunakan bingkai kalibrasi kedua.	87
4.21	Kedudukan titik dalam bingkai kalibrasi.	89
4.22	Kedudukan kamera dan keadaan imej	90
4.23	Proses perbandingan antara Australis dan V-STARS	91
4.24	Bingkai kalibrasi kedua untuk membandingkan Autralis dan PhotoModeler beserta dengan <i>scalebar</i> yang digunakan.	92
4.25	Proses untuk membuat perbandingan antara Australis dan PhotoModeler.	93
4.26	Bingkai kalibrasi yang menunjukkan kedudukan 18 titik sasaran.	96
4.27	Bingkai kalibrasi yang menunjukkan kedudukan sasaran untuk tujuan pengukuran jarak.	96
4.28	Enam variasi sasaran.	97
4.29	Kedudukan 36 titik sasaran.	98
4.30	Bingkai kalibrasi ketiga dan pecahan bahagiannya.	100
4.31	Bahagian yang bertanda nombor satu pada (Rajah 4.30) semasa proses mendapatkan jarak menggunakan teodolit industri XYZ.	100
4.32	Kedudukan 2 teodolit XYZ semasa cerapan dilakukan	102
4.33	Proses menggunakan bingkai kalibrasi ketiga	103
4.34	Foto yang menunjukkan sasaran yang telah dilekatkan pada salah satu permukaan bingkai kalibrasi.	105
4.35	Kertas penanda yang telah diletakkan untuk mengelakkan kekeliruan semasa proses penandaan dalam Australis.	106
4.36	Kedudukan kamera bagi bingkai kalibrasi ketiga.	107
4.37	Lima sasaran yang berbeza saiznya	108
4.38	(a) Bingkai kalibrasi rata dan (b) bingkai kalibrasi yang mempunyai kedalaman.	109
5.1	Hasil tapisan untuk mengesan outlier bagi kamera digital Kodak DC290.	114

5.2	Hasil tapisan untuk mengesan outlier bagi kamera digital Canon IXUS S400.	115
5.3	Graf min dan sisihan piawai yang didapati dari kamera digital Kodak DC 290.	121
5.4	Graf min dan sisihan piawai yang didapati dari kamera digital kamera digital Canon IXUS S400.	122
5.5	Hasil plot dan garisan regresi bagi nilai sigma yang didapati dari kamera digital Kodak DC 290.	124
5.6	Hasil plot dan garisan regresi bagi nilai sigma yang didapati dari kamera digital Canon IXUS S400.	125
5.7	Graf min dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak.	127
5.8	Graf hasil pemprosesan dari Australis.	128
5.9	Graf min dan sisihan piawai yang didapati dari cerapan.	132
5.10	Hasil plot dan garisan regresi bagi nilai sigma yang didapati dari bingkai kalibrasi ketiga.	134
5.11	Graf min dan sisihan piawai bagi perbezaan jarak	135
5.12	Graf hasil pemprosesan dari Australis.	138

SENARAI ISTILAH

BAHASA INGGERIS	-	BAHASA MELAYU
Aberration	-	Kecacatan
Astigmatisme	-	Kecacatan pada kanta yang menghalang dari membuat fokus yang tepat
Barrel	-	Tong
Bundle adjustment	-	Pelarasan ikatan
Craniofacial	-	Bahagian tengkorak dan muka
Emulsion	-	Bauran
Field curvature	-	Kelengkungan lapangan
Lateral	-	Dari arah sisi
Image Sensor	-	Penderia imej
Off-line	-	Luar talian
Rays of light	-	Ikatan sinar
Recovery image	-	Pemulihan imej
Remote sensing	-	Penderiaan jauh
Sagittal	-	Dari arah depan
Shutter	-	Pengatup
Single Lens Reflex	-	Kamera refleks tunggal
<i>Significance level</i>		Tahap kepercayaan

SENARAI SIMBOL

c	-	Jarak fokus
x_p, y_p	-	Beza antara titik tengah kanta dan satah imej
K_1, K_2, K_3	-	Nilai polynomial bagi herotan jejarian
P_1, P_2	-	Nilai polynomial bagi herotan pemusatan
B_1, B_2	-	Herotan pada satah imej atau parameter tambahan

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	HALAMAN
A	Perbezaan jarak di antara Australis dan V-STARS (bingkai kalibrasi kedua).	158
B	Koordinat anggaran yang diperolehi dari perisian V-STARS bagi setiap titik sasaran dalam bingkai kalibrasi kedua.	160
C	Lukisan pelan bingkai kalibrasi ketiga	176
D	Langkah-langkah untuk menggunakan bingkai kalibrasi ketiga dalam perisian Australis	182
E	Koordinat anggaran untuk bingkai kalibrasi ketiga (rata)	201
F	Koordinat anggaran untuk bingkai kalibrasi ketiga (mempunyai kedalaman)	203
G	Perbezaan pengukuran di antara Australis dan V-STARS dengan menggunakan variasi enam saiz sasaran (bingkai kalibrasi kedua)	205

H	Contoh hasil pemrosesan dari Australis bagi 54 titik sasaran menggunakan kamera digital Kodak DC290 (bingkai kalibrasi kedua).	209
I	Perbezaan pengukuran diantara Australis dan V-STARS dengan menggunakan variasi enam saiz sasaran (bingkai kalibrasi kedua).	219
J	Nilai pengukuran yang didapati dari Australis (bingkai kalibrasi ketiga).	221
K	Perbezaan pengukuran diantara Australis dan AXYZ dengan menggunakan variasi 12 bilangan sasaran (bingkai kalibrasi ketiga).	223
L	Perbezaan pengukuran diantara Australis dan AXYZ dengan menggunakan variasi 5 saiz sasaran (bingkai kalibrasi ketiga).	224

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latarbelakang

Kamera adalah suatu alat yang boleh digunakan untuk mengambil imej sesuatu objek. Ada berbagai-bagai jenis kamera di pasaran seperti kamera autofokus 35 mm (AF), kamera refleks tunggal ('Single Lens Reflex', SLR) dan yang terbaru adalah kamera digital. Selain daripada itu terdapat kamera-kamera jenis lain yang jarang didapati seperti kamera polaroid, instamatik dan kamera cakera. Kamera refleks kanta kembar (TLR) pula digunakan sebelum kamera refleks kanta tunggal (SLR) popular iaitu sekitar tahun 1950-an dan beransur diketepikan pada awal 70-an (Hamzah, 1992). Rajah 1.1 menunjukkan jenis-jenis kamera tersebut. Kesemua jenis kamera yang telah dinyatakan mempunyai kelainan dari segi bentuk, kegunaan, filem dan saiz filem yang digunakan kecuali kamera digital yang tidak menggunakan filem. Walaubagaimanapun kesemua kamera di atas mempunyai persamaan iaitu menggunakan kanta dan mempunyai pengatup (*shutter*) untuk mengambil imej. Hanya yang membezakan adalah bilangan kanta yang digunakan seperti kamera refleks kanta kembar yang menggunakan dua kanta dan kecepatan pengatup.



Rajah 1.1 : Jenis – jenis kamera, (a) kamera autofocus 35 mm, (b) kamera SLR, (c) kamera digital, (d) kamera polaroid, (e) kamera instamatik, (f) kamera cakera dan (g) kamera TLR. (Hamzah,1992).

Kesemua jenis kamera terbahagi kepada tiga kategori yang besar iaitu kamera metrik, semi-metrik dan bukan metrik. Kesemua kategori kamera ini boleh digunakan untuk mendapatkan imej bagi kegunaan kerja-kerja fotogrametri jarak dekat. Kamera semi-metrik dan bukan metrik adalah dua kategori yang bukan direkabentuk khas untuk tujuan fotogrammetri. Kamera amatir dan profesional termasuk di dalam dua kategori ini. Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan menggunakan kamera bukan metrik jika dibandingkan dengan kamera metrik (Atkinson, 1989). Kelebihan dan kelemahan ini ditunjukkan di dalam (Jadual 1.1).

Kelebihan utama yang terdapat pada kamera bukan metrik adalah harganya yang lebih murah daripada kamera metrik, mudah didapati dipasaran dan ringan serta boleh dipegang dan dihalakan ke mana-mana sasaran dengan mudah. Kelemahan utama kamera bukan metrik adalah kantanya herotan yang besar, orientasi dalaman yang tidak stabil dan kualiti kanta yang kurang baik dan boleh memendekkan jangka hayatnya. Pada masa kini terdapat beberapa jenama kamera seperti Panasonic dan Sony yang menggunakan kanta berkualiti tinggi seperti Leica Dicomar untuk kamera-kamera tertentu yang beresolusi tinggi.

Jadual 1.1 : Kelebihan dan kekurangan kamera bukan metrik (Atkinson,1989).

Kelebihan	Kekurangan
Mudah didapati di pasaran.	Kanta yang direkabentuk untuk mendapatkan resolusi yang tinggi mengakibatkan herotan kanta yang besar.
Jarak fokus yang boleh dilaraskan secara automatik.	Orientasi dalaman yang tidak stabil.
Mempunyai pacuan motor untuk mendapatkan gambar yang berkualiti.	Ketiadaan tanda fidusial.
Boleh dipegang menggunakan tangan serta mudah dihalakan ke mana-mana sasaran.	Ketiadaan gelembung aras untuk mendapatkan orientasi luaran sebelum gambar diambil.
Harga yang lebih murah daripada kamera metrik.	Kualiti kanta yang kurang baik dan boleh memendekkan jangka hayatnya.

Semenjak Fox Talbot dan Daguerre memulakan kaedah fotografi dan Laussedat serta penyelidik yang lain menggunakan foto untuk pengukuran, kombinasi diantara optik kamera dan *emulsion* (bauran) telah dimajukan untuk mendapatkan imej beresolusi tinggi dan kurang herotan. Kedua-duanya begitu berkesan terutama sekali apabila digunakan di dalam kerja-kerja fotogrametri. Walaubagaimanapun selepas terciptanya kamera yang menggunakan penderia elektronik untuk menggantikan filem, ahli-ahli fotogrametri telah menggunakan peralatan baru ini untuk merekod dan menjalankan pengukuran. Semenjak teknologi komputer berkembang dengan pesat, sistem digital telah mencapai suatu tahap yang membolehkan imej digital menggantikan imej analog di dalam berbagai-bagai bidang terutama sekali bagi fotogrametri jarak dekat dan *remote sensing* (penderiaan jauh). Terdapat beberapa kelebihan menggunakan imej digital iaitu imej digital boleh dipaparkan dan diukur pada komputer biasa tanpa menggunakan alat optikal atau mekanikal, sistem pengukuran adalah stabil dan proses untuk meninggikan kualiti imej dilakukan secara automasi manakala kerja-kerja boleh dilakukan pada masa hakiki atau hampir masa hakiki (Dowman, 1996).

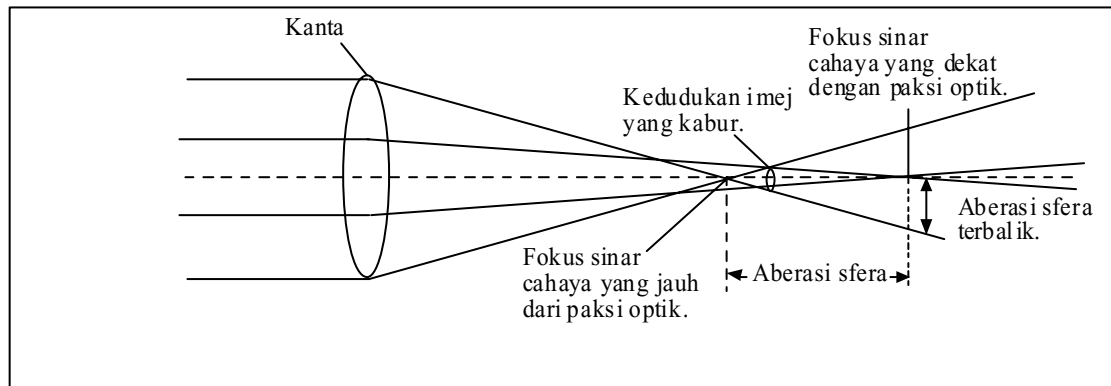
Kajian yang dilakukan ini melibatkan imej digital yang diambil menggunakan kamera digital. Kamera digital yang digunakan adalah kamera yang mudah diperolehi di pasaran dan berada dalam kategori kamera bukan metrik. Seperti yang telah dijelaskan sebelum ini, kamera bukan metrik mempunyai kekurangan dari segi orientasi dalaman yang tidak stabil. Ketidakstabilan orientasi dalaman ini akan menghasilkan ralat sistematik dan ini akan merendahkan ketepatan sistem perolehan imej. Maklumat metrik yang ada pada kamera tersebut dan sifat-sifat kantaanya diperlukan untuk memodelkan ralat sistematik ini.

1.2 Pernyataan masalah

Dalam Seksyen 1.1 telah dinyatakan bahawa dalam kajian ini kamera digital yang mudah diperolehi dipasaran digunakan sebagai media untuk mendapatkan imej digital. Orientasi dalaman adalah definisi yang digunakan untuk menjelaskan parameter yang memodelkan *rays of light* (ikatan sinar) yang melalui kanta terus ke satah imej. Sebelum sesuatu kamera digunakan untuk projek fotogrametri, parameter tersebut perlu diketahui dengan melakukan proses kalibrasi. Set parameter yang perlu diketahui dalam proses kalibrasi kamera terdiri daripada jarak fokus, titik utama, herotan kanta jejarian dan herotan kanta tangen (Fryer, 1989). Medan kalibrasi fotogrametri adalah suatu yang penting kerana medan ini boleh digunakan untuk proses kalibrasi geometri dalaman bagi peralatan yang digunakan untuk mendapatkan imej yang berbeza samada kamera yang digunakan adalah kamera digital atau menggunakan filem (Anuar & Chandler, 1999). Oleh itu suatu medan kalibrasi diperlukan untuk mendapat parameter orientasi dalaman bagi suatu sistem perolehan data.

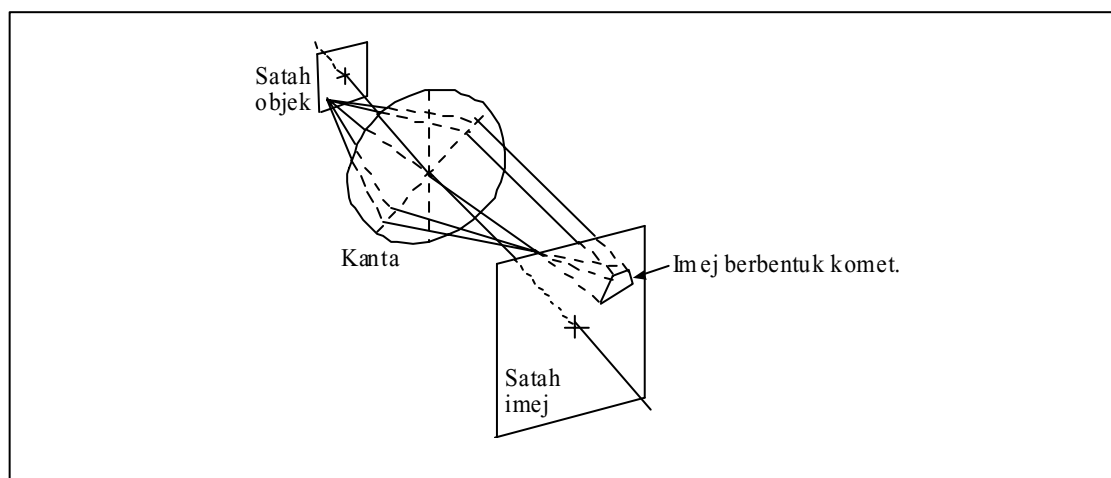
Kesemua jenis kamera mempunyai kanta di dalamnya yang digunakan untuk mendapatkan imej dan semua sistem kanta yang mempunyai permukaan sfera akan mengalami aberasi (Mikhail *et al.*, 2001). Terdapat lima aberasi utama iaitu : -

- a) Aberasi sfera terdapat pada kanta yang mempunyai permukaan sfera. Aberasi ini terjadi apabila sinar-sinar cahaya yang selari dengan paksi optik tetapi mempunyai jarak yang berbeza-beza dengan paksi optik gagal untuk menumpu pada satu titik yang sama. Aberasi sfera bergantung pada faktor jarak fokus bukaan kanta yang menghasilkan imej kabur. Ini boleh diatasi dengan menutup sedikit bukaan kanta. Rajah 1.2 menunjukkan aberasi sfera.



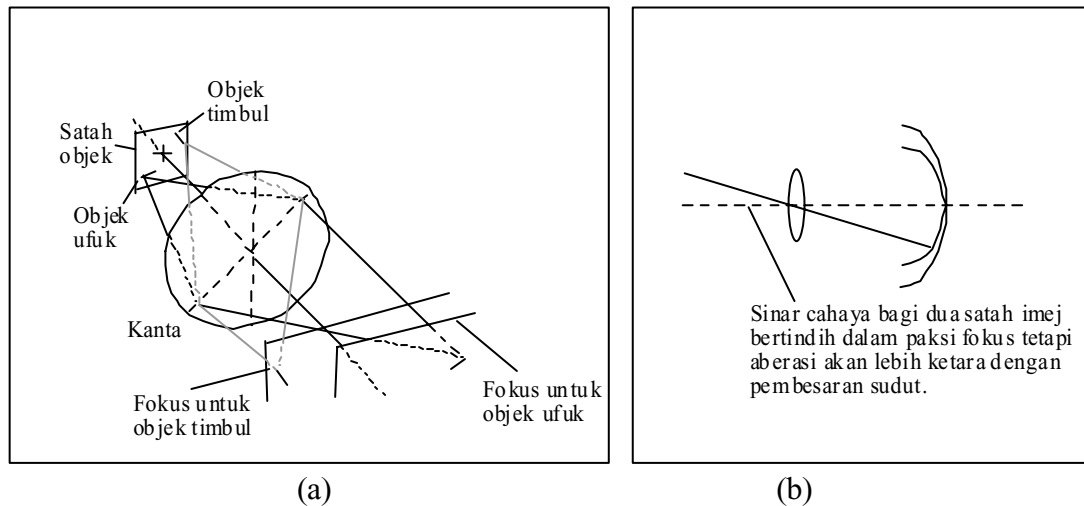
Rajah 1.2 : Kedudukan aberasi sfera.

- b) Koma iaitu penurunan kualiti yang diakibatkan oleh perbezaan fokus di paksi tengah dan tepi kanta yang mana akan menghasilkan imej berbentuk komet. Kanta yang mempunyai aberasi koma akan menghasilkan imej yang tajam pada paksi optik tetapi ketajaman itu menjadi semakin kabur apabila menjauhi paksi optik. Aberasi koma dapat dilihat dalam (Rajah 1.3).



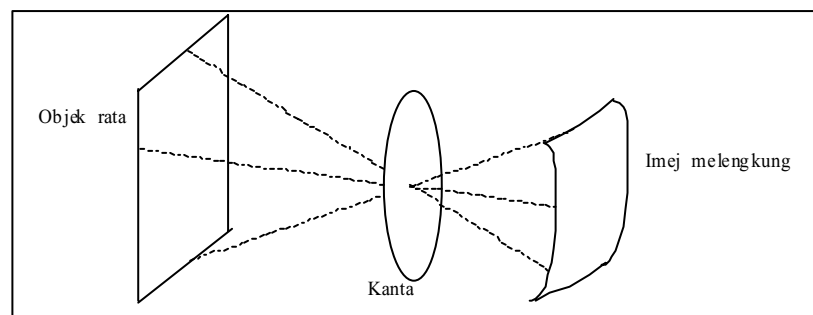
Rajah 1.3 : Aberasi koma yang menunjukkan imej berbentuk komet.

- c) Astigmatisme yaitu kepelbagaian fokus yang berkaitan dengan orientasi pada objek. Aberasi ini berlaku apabila objek yang timbul dan objek yang rata menumpu dan memberikan imej yang tajam pada permukaan yang berbeza pada satah imej. (Rajah 1.4) menunjukkan aberasi astigmatism.



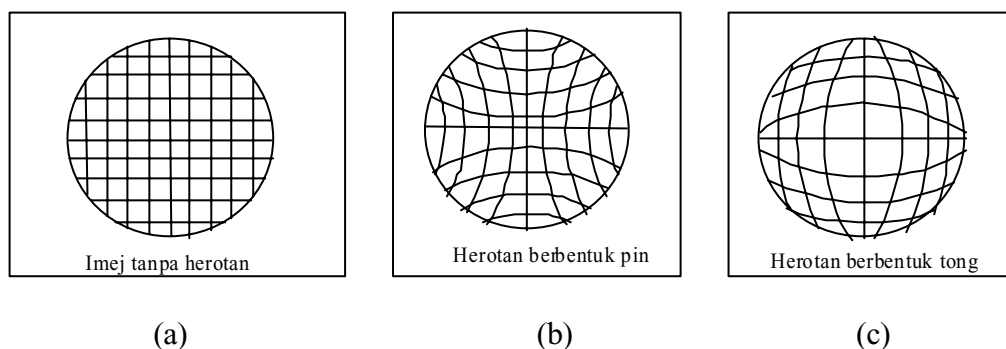
Rajah 1.4 : (a) Kedudukan dua satah fokus yang berlainan bagi objek ufuk dan timbul dan (b) pengaruh sudut ke atas astigmatism.

- d) Kelengkungan lapangan (*field curvature*) adalah aberasi yang mengakibatkan objek yang rata kelihatan melengkung dalam satah imej. Aberasi ini terdapat pada kanta yang mempunyai garis pusat kecil tetapi mempunyai kuasa yang tinggi sehingga menyebabkan imej yang jauh daripada paksi optik mempunyai jarak yang dekat dengan kanta. Rajah 1.5 menunjukkan aberasi kelengkungan lapangan.



Rajah 1.5 : Lengkungan lapangan yang menjadikan objek rata kelihatan melengkung pada satah imej.

- e) Herotan iaitu perubahan pembesaran imej yang berkaitan dengan jarak daripada paksi tengah kanta. Herotan ini berlaku akibat daripada pembuatan kanta yang tidak sempurna. Rajah 1.6 menunjukkan herotan bentuk *pincushion* dan bentuk *barrel* (tong).



Rajah 1.6 : (a) Imej tanpa herotan, (b) imej yang mempunyai herotan bentuk *pincushion* dan (c) imej yang mempunyai herotan bentuk *barrel* (tong).

Pada masa kini terdapat banyak kamera digital yang dikeluarkan oleh berbagai-bagai syarikat antarabangsa seperti Kodak, Samsung, Nikon, Sony, Panasonic dan lain-lain lagi. Kamera-kamera ini mempunyai perbezaan ciri-ciri kamera samada dari segi harga, resolusi imej, bentuk luaran, kepelbagaian fungsi, kualiti kanta dan lain-lain lagi. Selalunya harga yang ditawarkan adalah berpatutan dengan ciri-ciri kamera yang ada.

Salah satu sumbangan kajian ini ialah, kamera yang telah dikalibrasi akan digunakan untuk projek *anthropometry* iaitu pengukuran ke atas benda hidup. Pengukuran ini melibatkan pengukuran muka untuk tujuan pembedahan. Bagi pembedahan muka ketepatan yang tinggi diperlukan kerana melibatkan banyak saraf-saraf yang penting di bahagian muka. Salah satu daripada keperluan untuk mendapatkan ketepatan pengukuran *anthropometry* adalah dengan menggunakan peralatan yang jitu untuk mendapatkan data. Pengukuran menggunakan pembaris, filem x-ray dan wayar tidak dapat diterima setelah terciptanya peralatan pengukuran yang dibuat oleh mesin di kilang (Kolar & Salter, 1997). Oleh itu satu kajian

berkaitan dengan tahap kepercayaan terhadap nilai pengukuran yang didapati daripada kaedah fotogrametri jarak perlu dijalankan.

1.3 Objektif kajian

Objektif kajian ini adalah seperti berikut : -

1. Objektif pertama kajian ini adalah menghasilkan satu medan kalibrasi atau bingkai kalibrasi dengan bilangan dan saiz sasaran optimum yang boleh digunakan untuk memodelkan orientasi dalaman.
2. Objektif kedua kajian adalah untuk mendapatkan parameter minimum dan ketepatan yang dapat dicapai dengan menggunakan bingkai kalibrasi yang telah dihasilkan dalam objektif pertama. Tujuan objektif kedua ini adalah untuk mendapatkan ketepatan pengukuran berdasarkan parameter yang digunakan oleh sistem DVP. Sistem DVP adalah satu sistem fotogrametri yang digunakan dalam projek perolehan data *craniofacial*. Kajian ini akan memberikan nilai parameter kamera yang seterusnya digunakan oleh sistem DVP ini.

1.4 Skop kajian

Skop kajian ini adalah seperti berikut : -

1. Kajian ini melibatkan pengiraan saiz bingkai mengikut saiz resolusi kamera, bilangan sasaran dan saiz sasaran. Selain daripada itu aspek-aspek lain seperti susunan sasaran turut dikaji. Hasil gabungan daripada kesemua aspek ini

diharapkan dapat mewujudkan satu bingkai kalibrasi yang mempunyai rekabentuk yang paling optimum untuk menepati keperluan projek perolehan data *craniofacial*.

2. Bingkai kalibrasi yang dihasilkan ini digunakan bagi projek perolehan data *craniofacial*. Matlamat projek ini adalah untuk memodelkan muka manusia bagi tujuan perubatan. Ketepatan yang pernah didapati untuk kerja-kerja mendapatkan pengukuran *antrophometric landmark* muka manusia adalah 0.3mm pada arah *sagittal* dan 0.1mm pada arah *lateral* (D'Apuzzo, 1998). Peralatan pengukuran untuk mendapatkan pengukuran *antrophometric landmark* muka manusia yang selalu digunakan oleh pegawai perubatan adalah seperti *sliding* dan *spreading caliper*, pita ukur dan alat pengelasan serta pencari sudut (Kolar & Salter, 1997). Bingkai kalibrasi akan dibuat berdasarkan kepada ketepatan ± 0.05 mm iaitu ketepatan yang diperlukan dalam projek perolehan data *craniofacial*.
3. Diperingkat awal kajian ini, dua buah kamera digital digunakan iaitu Kodak DC 290 dan Canon IXUS S400. Kedua-dua kamera digital ini diuji dari segi kestabilan hasil pengukuran dengan melakukan perbandingan hasil diantara kedua-duanya. Pemilihan kamera adalah berdasarkan kepada bilangan resolusi yang terdapat pada kamera dan kestabilan parameter orientasi dalaman kamera. Bingkai kalibrasi yang telah dibuat digunakan sebagai alat untuk mendapatkan parameter kalibrasi kamera dan untuk menentukan kestabilan parameter orientasi dalaman kamera. Pada peringkat awal kajian, terdapat 10 parameter digunakan iaitu 5 parameter (c , x_p , y_p , K_1 dan K_2) digabungkan dengan parameter herotan kanta jejarian (K_3) dan herotan kanta tangen (P_1 dan P_2) serta herotan pada satah imej atau parameter tambahan (B_1 dan B_2).
4. Hasil kalibrasi yang diperolehi digunakan untuk satu lagi kajian lain yang menggunakan satu sistem fotogrametri digital yang dikenali sebagai DVP. Perisian DVP memerlukan hasil kalibrasi yang minimum iaitu jarak fokus (c), beza antara titik tengah kanta dan satah imej (x_p dan y_p) dan herotan kanta jejarian (K_1 dan K_2) sahaja. Perisian Australis digunakan untuk melakukan proses kalibrasi. Perisian DVP tidak akan digunakan dalam kajian kalibrasi

kamera ini. Diperingkat akhir kajian, ketepatan pengukuran berdasarkan lima parameter ini dilakukan untuk memenuhi keperluan perisian DVP.

1.5 Kepentingan kajian

Kepentingan kajian ini adalah : -

1. Kajian ini adalah merupakan sebahagian daripada projek perolehan data *craniofacial*. Projek perolehan data *craniofacial* ini lebih menekankan kepada perolehan data *craniofacial* iaitu imej di bahagian kepala. Terdapat beberapa orang pelajar sarjana dan tiga pelajar doktor falsafah yang terlibat dalam projek perolehan data *craniofacial* ini. Kajian yang dilakukan ini melibatkan kalibrasi kamera dan merupakan fasa awal projek ini. Seperti yang telah dinyatakan dalam Seksyen 1.2, kalibrasi kamera adalah suatu proses yang penting untuk mendapatkan parameter orientasi dalaman sesebuah kamera. Parameter orientasi dalaman ini digunakan dalam hitungan untuk mendapatkan data *craniofacial*. Tanpa kalibrasi, projek perolehan data *craniofacial* tidak dapat berjalan dengan lancar dan hasil yang diperolehi tidak dapat menepati kehendak projek.
2. Kamera digital yang dipilih telah diuji tahap keberkesannya dalam kajian ini dan digunakan pula oleh pelajar sarjana yang lain dalam projek perolehan data *craniofacial*. Apabila selesai projek ini diharapkan satu pangkalan data yang mempunyai maklumat *craniofacial* bagi semua kaum yang ada di Malaysia dapat diwujudkan. Pangkalan data ini boleh digunakan dalam bidang perubatan khususnya dalam bidang pembedahan muka manusia yang melibatkan merekabentuk semula muka yang telah rosak samada akibat kemalangan, kebakaran dan lain-lain lagi. Diharapkan dari kajian ini satu bingkai kalibrasi yang baik dapat dihasilkan dan boleh digunakan untuk tujuan kalibrasi mana-mana kamera digital pada masa akan datang.

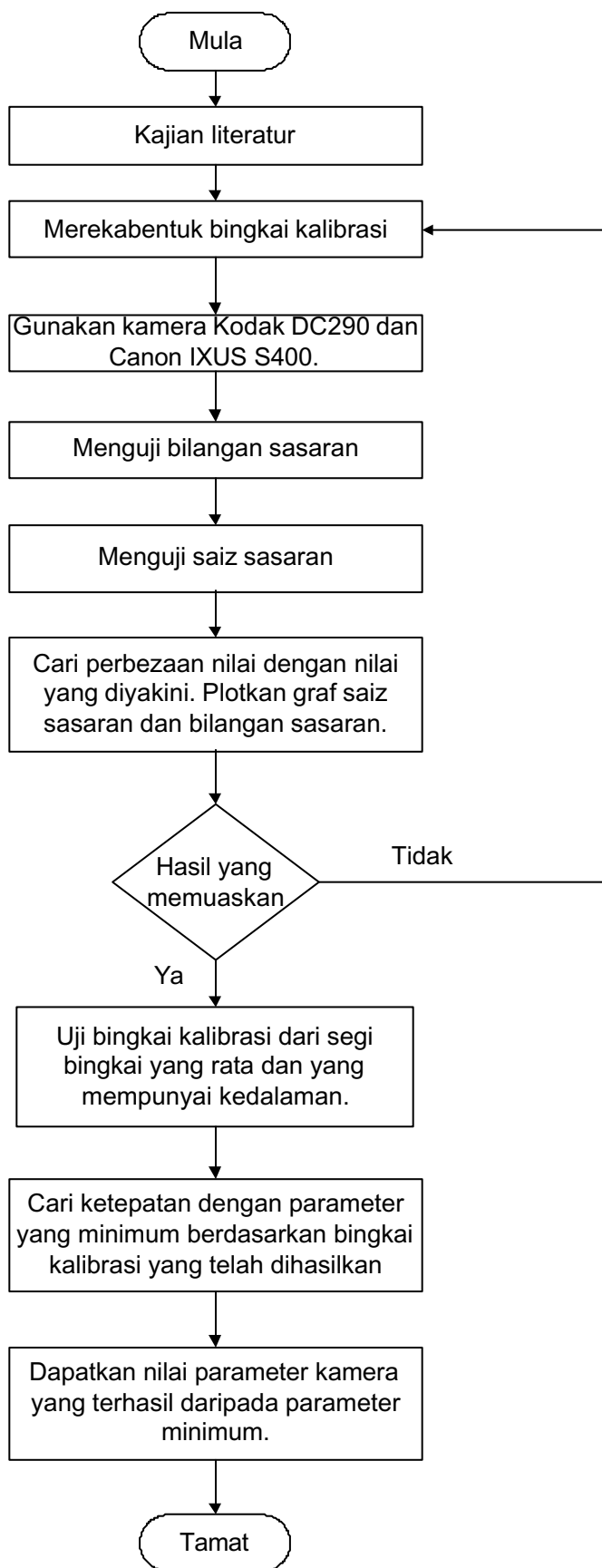
1.6 Metodologi kajian

Metodologi kajian ini adalah seperti berikut : -

1. Kajian dimulakan dengan melakukan kajian literatur. Kajian literatur merangkumi kalibrasi kamera, parameter kamera, aplikasi yang digunakan di luar negara, bingkai kalibrasi yang digunakan di luar negara dan maklumat berkenaan dengan bilangan dan saiz sasaran optimum yang mempengaruhi kalibrasi kamera.
2. Setelah itu bingkai kalibrasi direkabentuk dan di bina. Kamera digital Kodak dan Canon IXUS digunakan untuk mendapatkan imej sebagai data. Sistem V-STARS dan sistem teodolit industri XYZ digunakan sebagai rujukan pengukuran.
3. Hasil cerapan diuji dari segi perbezaan pengukuran dengan sistem rujukan (V-STARS dan XYZ). Perbezaan ini digunakan untuk mendapatkan ketepatan yang paling tinggi. Jika bilangan dan saiz sasaran yang optimum diperolehi berdasarkan ketepatan yang paling tinggi maka langkah seterusnya dijalankan dan jika sebaliknya bingkai kalibrasi direkabentuk semula. Sebanyak tiga rekabentuk bingkai kalibrasi kamera telah dihasilkan dalam proses ini.
4. Setelah mendapat bilangan dan saiz sasaran yang optimum (bingkai kalibrasi ketiga) maka langkah yang seterusnya ialah memilih antara kedua-dua kamera berdasarkan perbezaan hasil ketepatan antara kedua-dua kamera tersebut.
5. Kamera yang telah dipilih beserta dengan bilangan dan saiz sasaran optimum digunakan untuk menguji antara bingkai rata dan yang tak rata. Bingkai ini diuji berdasarkan ketepatan antara kedua-dua bingkai dengan sistem rujukan.
6. Langkah seterusnya adalah menetapkan beberapa parameter dengan mendapatkan parameter minimum yang sesuai beserta dengan ketepatan

pengukurannya. Parameter yang ditetapkan adalah seperti yang terdapat dalam Seksyen 1.4 iaitu K_3 , P_1 , P_2 , B_1 dan B_2 .

7. Akhirnya bingkai yang direkabentuk berdasarkan bilangan dan saiz sasaran yang optimum dapat menghasilkan ketepatan yang dikehendaki menggunakan kamera yang telah dipilih yang mempunyai parameter minimum. Cartalir dalam (Rajah 1.7) menunjukkan metodologi kajian ini.



Rajah 1.7 : Cartalir metodologi kajian.

RUJUKAN

- Abdul Hamid Mohd Tahir (1990). *Asas Fotogrametri*. Johor: Unit Penerbitan Akademik UTM. 1
- Ahn, S. J., Warnecke, H. J. & Kotowskis, R. (1999). Systematic Geometric image Measurement Errors of Circular Object Targets: Mathematical Formulation and Correction. *Photogrammetric Record*. 16(93): 485-502.
- Anuar Ahmad & Zulkarnaini Mat Amin (1998). *Unsur-unsur Fotogrametri Dengan Pentafsiran Foto Udara Dan Penderiaan Jauh*. Johor: Penerbit Universiti Teknologi Malaysia. 1, 507, 532, 533, 623, 626
- Anuar Ahmad & Chandler, J. H. (1999). Photogrammetric Capabilities of The Kodak DC 40, DCS 420, And DCS 460 Digital Cameras. *Photogrammetric Record*. 16(94): 601-615.
- Anuar Ahmad (2000). *Kursus Pendek Aplikasi Imej Foto Digital Untuk Pengukuran dan Permodelan*. Universiti Teknologi Malaysia: Tidak Diterbitkan.
- Atkinson, K. B. (1989). Instrumentation for Non-Topographic Photogrammetry
Dlm. Karara, H. M. ed. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia:
American Society For Photogrammetry and Remote Sensing. 15, 27
- Bluman, A. G. (2004). *Elementary Statistics: A Step By Step Approach*. 5th ed.
New York, NY: McGraw-Hill. 139, 385-386, 392.
- Boersma, S. M., Heuvel, F. A., Cohen, A. F. & Scholtens, E. M. (2000).
Photogrammetric Wound Measurement With A Three-Camera Vision System.
International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. 33(Part B5)
- Brager, S. & Chong, A. K. (1999). An Application Of Close Range
Photogrammetry In Dolphin Studies. *Photogrammetric Record*. 16(93): 507-
517.

- Brown, D. C. (1984). Tools Of The Trade. *Proceedings of a workshop held as part of the American Society of photogrammetry, American Congress on Surveying & Mapping 1984 Fall Convention*. September 9-14. Falls Church, Virginia: ASPRS, 227.
- Clarke, T. A., (1994). An Analysis of the Properties of Targets Uses in Dgital Close Range Photogrammetric Measurement. . *Videometrics III*. SPIE Vol. 2350: 251-262.
- Clarke, T. A. & Fryer, J. G., (1998). The Development of Camera Calibration Methods and Models. *Photogrammetric Record*. 16(91): 51-66.
- Clarke, T. A., Fryer, J. G. & Wang, X. (1998). The Principal Point and CCD cameras. *Photogrammetric Record*. 16(92): 293-312.
- Clarke, T. A. & Wang, X. (1998) Extracting High Precision Information From CCD Images. *Proceedings ImechE Conference*. Optical methods and Data Processing for Heat and Fluid Flow. City University. 1998. 311-320
- Chong, A. K. (2003) : Komunikasi peribadi
- Cooper, M. A. R. & Robson, S. (1996). Introduction Dlm. Atkinson, K. B. ed. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing Services. 9
- D'Apuzzo, N. (1998). Automated Photogrammetric Measurement Of Human Faces. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 32(B5): 402-407.
- Dold, J. (1996). Influence of large targets on the results of photogrammetric bundle adjustment. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 31(B5): 119-123.
- Dowman, I. J. (1996). Fundamentals of Digital Photogrammetry Dlm. Atkinson, K. B. ed. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing. 52, 53
- Eos Systems Inc. (1999). *PhotoModeler User Manual*. Canada: Software Manual.
- Fazli Abdul Rahman (2001). *Penggunaan Fotogrametri Jarak dekat Bagi Aplikasi Kemalangan Jalanraya*. Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Ijazah sarjana Muda.
- Fazli Abdul Rahman. (2004). Comparison of Camera Calibration Parameters Using PhotoModeler and Australis. *International Symposium And Exhibition On Geoinformation 2004*. September 21 – 23. Serdang, Selangor: Institut Teknologi Maju, 4.

- Forbes, K., Voigt, A. & Bodika, N. (2002) An Inexpensive, Automatic and Accurate Camera Calibration Method. *Proceedings of the Thirteenth Annual South African Workshop on Pattern Recognition*. PRASA, South Africa . 2002
- Fraser, C. S. (1984). Network Design Considerations for Non-Topographic Photogrammetry.. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 50(8): 1115-1126.
- Fraser, C. S. (1987). Multiple Exposures in Non-metric Camera Applications. *Photogrammetria*. 42(1987): 62-72.
- Fraser, C. S. & Shortis, M. R., (1992). Variation of Distortion within the photographic field. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 58(6): 851-855.
- Fraser, C. S. & Shortis, M. R., (1995). Metric Exploitation Of Still Video Imagery. *Photogrammetric Record*. 15(85): 107-122.
- Fraser, C. S., Shortis, M. R. & Ganci, G. (1995). Multi-sensor system self-calibration. *Videometrics IV*. SPIE 2598: 2-18.
- Fraser, C. S. (1996). Industrial Measurement Applications Dlm. Atkinson, K. B. ed. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing Services. 343
- Fraser, C. S. (1997). Digital Camera Self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 52(1997): 149-159.
- Fraser, C. S. (2001). The Photogrammetric Recording of Bet Giorgis. *International Symposium of Photogrammetry and Remote Sensing*. 6(3): 30-31.
- Fraser, C. S. (2003). *V-Stars Photogrammetry System*. University of Melbourne: Laman Web.
- Fryer, J. G. (1989). Camera Calibration In Non-Topographic Photogrammetry Dlm. Karara, H. M. ed. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia: American Society For Photogrammetry and Remote Sensing. 59, 159-163
- Fryer, J. G., Clarke, T. A. & Chen, J., (1994). Lens distortion for simple C-mount lenses. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 27(5): 166-181.
- Fryer, J. G. (1996a). Introduction Dlm. Atkinson, K. B. ed. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing Services.

- Fryer, J. G. (1996b). Camera Calibration Dlm. Atkinson, K. B. ed. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing Services. 163,166
- Gayde, J., C., Humbertcalude, C. & Lasseur, C. Prospects of Close Range Digital Photogrammetry in Large Physics Installations. *Fifth International Workshop on Accelerator Alignment*, Chicago, USA, 1997
- Ghosh, S. K. (1989). Electron Microscopy: Systems and Applications Dlm. Karara, H. M. ed. *Non-Topographic Photogrammetry*. Virginia: American Society For Photogrammetry and Remote Sensing. 187 - 201
- Hamzah Hurmin (1992). *Fotografi*. Cetakan Pertama. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka. 78, 86, 142, 154
- Kolar, J. C. & Salter, E. M. (1997). *Craniofacial Anthropometry Practical Measurement of The Head and Face for Clinical, Surgical and Research Use*. Illinois: Charles C. Thomas Publisher, Ltd. .26
- Mancuso, M. (2001). Image Processing for Digital Still Camera. *ST Journal of System Research*. 2(2): 1-9.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. & McGlone, J. C. (2001). *Introduction To Modern Photogrammetry*. New York: John Wiley & Sons, Inc. .40, 41, 152, 153
- Robson, S., Clarke, T. A. & Chen, J., (1993). The suitability of the Pulnix TM6CN CCD camera for photogrammetric measurement. *SPIE*. 2067, Videometrics II: 66-77.
- Robson, S. & Shortis, M. R., (1998). Practical influences of geometric and radiometric image quality provided by different camera systems. *Photogrammetric Record*. 16(92): 225-248.
- Shortis, M. R, Clarke, T. A. & Short, T., (1994). A Comparison of Some Techniques for the Subpixel Location of Discrete Target Images. *SPIE* 2350, Videometrics III: 239-250.
- Shortis, M. R. & Beyer, H. A. (1996). Sensor technology for digital photogrammetry and machine vision Dlm. Atkinson, K. B. ed. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Scotland: Whittles Publishing Services. 107
- Shortis, M. R. & Beyer, H. A. (1997). Calibration Stability of the Kodak DCS420 and 460 cameras. *Videometrics V*. SPIE 3174: 94-105.

- Shortis, M. R. & Snow, W. L. (1997). Videometric Tracking of Wind Tunnel Aerospace Models at NASA Langley Research Centre. *Photogrammetric Record*. 15(89): 673-689.
- Shortis, M. R., Robson, S. & Beyer, H. A. (1998). Principal Point Behaviour And Calibration Parameter Models for Kodak DCS Cameras. *Photogrammetric Record*. 16(92): 165-186.
- Streilein, A., Hanke, K. & Grussenmeyer, P. (2000). First Experiences With The “Zurich City Hall” Data Set Architectural Photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33(Part 5): 580.
- Tokarczyk, R. & Mikrut, S. (2000). Close Range Photogrammetry System For Medicine And Railways. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 33(Part B5): 519-524.
- Trinder, J. C. (1989). Precision of Digital Target Location. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 55(6): 883-886.
- University of Melbourne (2001). *Australis User Manual*. Australia: Software Manual.
- Vandome, N. (2002). *Digital Photography*. Third Edition. England: Computer Step Southfield Road. 10, 17-24
- Wolf, P.R. (1983). *Elements of Photogrammetry*. New York: McGraw-Hill Inc. 1