

PENILAIAN KESESUAIAN KAEDAH FOTOGRAMETRI DIGITAL JARAK
DEKAT UNTUK PENGUKURAN OBJEK TIGA DIMENSI

KHAIRIL AFENDY BIN HASHIM

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

Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2009

Buat Almarhum Ayahanda
Bonda tercinta...

Isteri dan Puteri ku...

Serta

Adik-adik ku Kasihi..

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnia dan keiznanya, dapat saya menyiapkan tesis Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik) ini dengan jayanya. Pertama sekali, saya ingin merakamkan penghargaan dan jutaan terima kasih kepada Profesor Madya Dr. Hj. Anuar bin Hj. Ahmad (penyelia I) dan Profesor Dr. Halim bin Setan (penyelia II), di atas segala bimbingan dan tunjuk ajar yang diberikan sepanjang tempoh tesis ini disiapkan.

Jutaan terima kasih turut diberikan kepada Dr. Zulkepli bin Majid di atas segala bantuan dan tunjuk ajar yang diberikan sepanjang penyelidikan ini dijalankan.

Tidak lupa buat rakan-rakan dari MIRG (Medical Imaging Research Group) dan CIMES (Center for Industrial and Measurement Surveying), terima kasih di atas segala dorongan dan bantuan yang diberikan. Buat saudara Fazli bin Abd Rahman dan saudara Mohd Farid bin Mohd Ariff, jutaan terima kasih juga diucapkan di atas segala bantuan dan sokongan tanpa berbelah bagi yang anda berdua berikan. Akhir kata, saya berharap agar tesis ini dapat dimanfaatkan sepenuhnya khusus buat pelajar yang berada dalam pengkususan Fotogrametri Jarak Dekat dan menjadi panduan kepada individu yang terlibat dalam permodelan objek secara Tiga Dimensi (3D).

ABSTRAK

Kajian ini menumpu kepada penggunaan kaedah fotogrametri digital jarak dekat. Kaedah ini boleh digunakan dalam pelbagai bidang seperti perindustrian, kejuruteraan, perubatan, arkeologi dan senibina. Matlamat kajian ini ialah untuk mengkaji penggunaan kaedah fotogrametri digital jarak dekat untuk pengukuran objek 3D dan menjana model 3D objek. Dalam kajian ini empat objek kajian yang berbeza yang terdiri daripada replika botol, paip selinder, model kapal *Multi Mission Vessel* (MMV) dan kenderaan pacuan empat roda digunakan. Bagi setiap objek kajian, titik sasaran pantulan sonsang dilekatkan padanya. Seterusnya imej digital di sekeliling objek kajian diambil dengan menggunakan kamera digital dan konfigurasi menumpu. Selepas proses pengimejan, imej berkenaan diproses dengan menggunakan dua perisian fotogrametri digital jarak dekat iaitu Australis dan PhotoModeler. Hasil pemrosesan dari kedua-dua perisian adalah koordinat 3D. Seterusnya koordinat 3D ini diinput ke dalam perisian permodelan untuk penjanaan model 3D objek kajian. Bagi penilaian ketepatan pengukuran, kaedah geodetik dan sistem V-STARS digunakan. Hasil kajian menunjukkan purata ketepatan Australis adalah diantara ± 0.023 mm hingga ± 0.499 mm manakala purata ketepatan PhotoModeler adalah diantara ± 0.106 mm hingga ± 1.361 mm. Kesimpulannya, kajian ini menunjukkan bahawa kaedah fotogrametri digital jarak dekat boleh digunakan untuk pengukuran objek 3D dan menjana model 3D.

ABSTRACT

This study concentrates on the use of digital close range photogrammetric method. This method can be used in various field such as industrial, engineering, medical, archaeology and architecture. The aim of this study is to investigate the use of digital photogrammetric method for measurement of 3D object and generating 3D model. In this study, four different test objects were used which comprised of the replica of bottle, cylinder pipe, Multi Mission Vessel (MMV) hull model and four wheel drive vehicle. For each test object, retro-reflective targets are stucked to it. Then, digital images surrounding the test object were acquired using digital camera and convergent configuration. After the imaging process, these images were processed using two digital close range photogrammetric softwares known as Australis and PhotoModeler. The output from the two softwares is 3D coordinates. Next the 3D coordinates were input into modeling software to generate 3D model of the test object. For accuracy assessment of measurement, geodetic method and V-STARS system are used. Results of the study showed that the mean accuracy for Australis is between ± 0.023 mm to ± 0.499 , while the mean accuracy for PhotoModeler is between ± 0.106 mm to ± 1.361 mm. In conclusion, this study shows that digital close range photogrammetric method can be used for measurement of 3D object and generating 3D model.

SENARAI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	HALAMAN
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	SENARAI KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xiv
	SENARAI RAJAH	xvi
	SENARAI ISTILAH	xxii
	SENARAI SIMBOL	xxiv
	SENARAI LAMPIRAN	xxv
1	Pengenalan Kajian	
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Pernyataan Masalah	2
	1.3 Objektif Kajian	4
	1.4 Skop Kajian	5
	1.5 Metodologi	5
	1.6 Rumusan Aliran Bab	8
2	Fotogrametri Jarak Dekat	
	2.1 Pendahuluan	9
	2.2 Sistem Fotogrametri	10
	2.2.1 Sistem Perolehan Data	10

2.2.2	Kaedah Penilaian	11
2.3	Fotogrametri Jarak Dekat	12
2.3.1	Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat	13
2.4	Kepentingan Kamera Dalam Fotogrametri Jarak Dekat	15
2.4.1	Kamera Metrik	16
2.4.2	Kamera Bukan Metrik	19
2.5	Kamera Digital	20
2.5.1	Konsep Pengukuran Koordinat 3D Kamera Digital (CCD)	21
2.6	Imej Digital	27
2.7	Kalibrasi Kamera	28
2.8	Rumusan Bab 2	30

3**PENJANAAN MODEL TIGA DIMENSI KAEDAH
FOTOGRAMETRI DIGITAL**

3.1	Pendahuluan	31
3.2	Pengkelasan Kaedah Tanpa Sentuhan	31
3.2.1	Penderia Aktif	32
3.2.2	Penderia Pasif	32
3.3	Penjanaan Model Tiga Dimensi (3D)	33
3.3.1	Penjanaan Model 3D Berasaskan Imej	33
3.3.2	Rekabentuk Jaringan Geometri	35
3.3.3	Pengukuran Titik Objek	38
3.3.4	Penskalaan	40
3.3.5	Pembentukan Model Melalui Koordinat 3D	41
3.4	Rumusan Bab 3	44

4**OBJEK KAJIAN DAN PERISIAN**

4.1	Pendahuluan	46
4.2	Peralatan dan Perisian	46
4.2.1	Kamera	48
4.2.2	Alat Total Station	49

4.2.3	Sistem V-STARS	50
4.3	Objek Kajian	52
4.3.1	Replika Botol	52
4.3.2	Replika Paip Selinder	53
4.3.3	Model Kapal <i>Multi Mission Vessel</i> (MMV)	53
4.3.4	Kenderaan Pacuan Empat Roda Mitsubishi Pajero	54
4.4	Perisian Australis 6.01	55
4.4.1	Latar belakang Perisian	56
4.4.2	Paparan Projek	58
4.4.3	Memulakan Projek	60
4.4.4	Orientasi Relatif (<i>Relative Orientation-RO</i>)	63
4.4.5	Pendigitan Titik Sasaran	65
4.4.6	Pemprosesan Data	67
	4.4.6.1 Silangalikan (<i>Resection</i>)	67
	4.4.6.2 Penyegitigaan (<i>Triangulation</i>)	68
	4.4.6.3 Pelarasan Ikatan (<i>Bundle Adjustment</i>)	68
4.4.7	Hasil dan Analisa	70
4.5	Perisian PhotoModeler 5.0	71
4.5.1	Latarbelakang Perisian	71
4.5.2	Paparan Projek	72
4.5.3	Memulakan Projek	73
4.5.4	Pendigitan Titik Sasaran	75
4.5.5	Pemprosesan Data	78
4.5.6	Penskalaan dan Putaran (<i>Scaling dan Rotation</i>)	80
	4.5.6.1 Penskalaan	80
	4.5.6.2 Putaran (<i>Rotation</i>)	81
4.5.7	Hasil dan Analisa	82
4.5.8	Permodelan 3D	83
	4.5.8.1 Pembentukan <i>Poligon</i>	84
	4.5.8.2 Model <i>Wireframe</i>	85
	4.5.8.3 Model <i>Shaded</i>	86
	4.5.8.4 Model <i>Texture</i>	86

4.6	Perisian Rhinoceros 3.0	87
4.6.1	Latarbelakang Perisian	87
4.6.2	Paparan Projek Rhinoceros	89
4.6.3	Memulakan Projek	90
4.6.4	Pembentukan <i>Poligon</i>	91
4.6.5	Model <i>Wireframe</i>	92
4.6.6	Model <i>Shaded</i>	93
4.6.7	Model <i>Render (Solid)</i>	94
4.6.8	Hasil & Analisa	95
4.7	Rumusan Bab 4	97

5

METODOLOGI

5.1	Pendahuluan	99
5.2	Kalibrasi Kamera	99
5.2.1	Kalibrasi Kamera Menggunakan Perisian Australis	100
5.2.2	Kalibrasi Kamera Menggunakan Perisian PhotoModeler 5.0	102
5.3	Penandaan Titik Objek	104
5.4	Prosedur Pengumpulan Data Objek	107
5.4.1	Kaedah Fotogrametri	107
5.4.1.1	Perletakan Bar Kalibrasi	108
5.4.1.2	Pengambaran Imej	108
5.4.2	Pengukuran Semakan Objek	109
5.4.2.1	Pengukuran Sistem V-STARS	109
5.4.2.2	Pengukuran Geodetik Total Station	110
5.4.3	Pemprosesan Imej	110
5.4.3.1	Perisian Australis & PhotoModeler	111
5.4.3.2	Sistem V-STARS	112
5.4.3.3	Kaedah Geodetik Total Station	113
5.4.4	Penjanaan Model Tiga Dimensi (3D) Objek	114
5.5	Rumusan Bab 5	115

6

ANALISIS DAN HASIL

6.1	Pengenalan	116
6.2	Kes Kajian 1 (Replika Botol)	116
6.2.1	Analisis Pemprosesan	117
6.2.2	Analisis Ketepatan	117
6.2.2.1	Semakan Pengukuran Arah 90 Darjah	118
6.2.2.2	Semakan Pengukuran Arah 180 Darjah	119
6.2.2.3	Semakan Pengukuran Arah 135 Darjah	121
6.2.2.4	Semakan Pengukuran Arah 225 Darjah	122
6.2.3	Analisis Model dan Persembahan	124
6.2.3.1	Analisis Ketepatan Garis Kelengkungan	124
6.2.3.2	Analisa Permukaan Model	126
6.3	Kes Kajian II (Replika Paip Selinder)	129
6.3.1	Analisis Pemprosesan	129
6.3.2	Analisis Ketepatan	130
6.3.2.1	Semakan Pengukuran Arah 90 Darjah	130
6.3.2.2	Semakan Pengukuran Arah 180 Darjah	132
6.3.2.3	Semakan Pengukuran Arah 135 Darjah	133
6.3.2.4	Semakan Pengukuran Arah 225 Darjah	135
6.3.3	Analisis Model dan Persembahan	136
6.3.3.1	Analisis Ketepatan Garis Kelengkungan	137
6.3.3.2	Analisa Permukaan Model	138
6.4	Kes Kajian III (Model Kapal MMV)	142
6.4.1	Analisis Pemprosesan	142
6.4.2	Analisis Ketepatan	143

6.4.2.1	Semakan Pengukuran Arah 90 Darjah	143
6.4.2.2	Semakan Pengukuran Arah 180 Darjah	145
6.4.2.3	Semakan Pengukuran Arah 135 Darjah	146
6.4.2.4	Semakan Pengukuran Arah 225 Darjah	148
6.4.3	Analisis Model dan Persembahan	149
6.4.3.1	Analisis Ketepatan Garis Kelengkungan	150
6.4.3.2	Analisa Permukaan Model	152
6.5	Kes Kajian IV (Kenderaan Pacuan 4 Roda)	154
6.5.1	Analisis Pemprosesan	154
6.5.2	Analisis Ketepatan	155
6.5.2.1	Semakan Pengukuran Arah 90 Darjah	155
6.5.2.2	Semakan Pengukuran Arah 180 Darjah	157
6.5.2.3	Semakan Pengukuran Arah 135 Darjah	158
6.5.2.4	Semakan Pengukuran Arah 225 Darjah	160
6.5.3	Analisis Model dan Persembahan	161
6.5.3.1	Analisis Ketepatan Garis Kelengkungan	162
6.5.3.2	Analisa Permukaan Model	165
6.6	Rumusan Bab 6	166
7	KESIMPULAN DAN CADANGAN	
7.1	Pendahuluan	169
7.2	Kesimpulan	169
7.3	Sumbangan Kajian	173

	xiii
7.4 Cadangan	174
SENARAI DOKUMEN RUJUKAN	175
LAMPIRAN A – S	182 - 279

SENARAI JADUAL

NO JADUAL	TAJUK	HALAMAN
2.1	Jenis kamera, harga, ketepatan dan aplikasi (Fraser, 2002)	16
2.2	Perbezaan antara kamera metrik dan kamera bukan metrik (Wolf, 1983)	20
3.1	Perisian-perisian kormesial CAD dan Kejuruteraan Balikan untuk permodelan 3D (Remondino, 2003)	43
3.2	Antara perisian permodelan 3D atau animasi (Remondino, 2003)	43
4.1	Spesifikasi bagi kamera digital Canon Powershot S400 (Canon, 2003)	49
6.1	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 90 darjah	118
6.2	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 180 darjah	120
6.3	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 135 darjah	121
6.4	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 225 darjah	123
6.5	Ukuran garis kelengkungan model Replika Botol	125
6.6	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 90 darjah	131
6.7	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 180 darjah	132
6.8	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 135 darjah	134
6.9	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 225 darjah	135
6.10	Ukuran garis kelengkungan model Paip Selinder	137
6.11	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 90 darjah	144
6.12	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 180 darjah	145
6.13	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 135 darjah	147
6.14	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 225 darjah	148

6.15	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 90 derajat bagi jarak lengkung kurang daripada 300 mm	150
6.16	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 180 derajat bagi jarak lengkung kurang daripada 300 mm	151
6.17	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 90 derajat bagi jarak lengkung lebih daripada 300 mm	151
6.18	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 90 derajat	156
6.19	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 180 derajat	157
6.20	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 135 derajat	159
6.21	Ukuran jarak garis semakan dalam arah 225 derajat	160
6.22	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 90 derajat bagi jarak lengkung kurang daripada 700 mm	162
6.23	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 180 derajat bagi jarak lengkung kurang daripada 700 mm	163
6.24	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 90 derajat bagi jarak lengkung lebih daripada 700 mm	164
6.25	Hasil perbandingan garis kelengkungan dalam arah 180 derajat bagi jarak lengkung lebih daripada 700 mm	164

SENARAI RAJAH

NO RAJAH	TAJUK	HALAMAN
1.1	Metodologi Kajian	7
2.1	Kamera metrik tunggal (<i>Phototheodolite FT1318/10</i>) (Bursky, 2004)	17
2.2	Kamera stereometrik (<i>Zeiss SMK40</i>) (Foto Hut, 2004)	17
2.3	Kamera INCA (GSI, 2006)	18
2.4	Kamera bukan metrik ; (a) Kamera 35 mm, (b) Kamera Video dan (c) Kamera Digital (Imaging Resouces, 2003)	19
2.5	Pengoperasian Pengesan CCD	21
2.6	Sistem koordinat imej dan objek	22
3.1	Proses pengukuran fotogrametri jarak dekat (GSI, 2006)	34
3.2	Proses permodelan kaedah fotogrametri jarak dekat (GSI, 2006)	35
3.3	Pertindihan titik sasaran yang sempurna (GSI, 2006)	36
3.4	Sudut antara kamera dengan sasaran retro (GSI, 2006)	37
3.5	Sudut persilangan kamera (GSI, 2006)	37
3.6	Pelbagai jenis dan saiz pemantul-retro (GSI, 2006)	39
3.7	Ciri-ciri Pemantul Retro (a) Pandangan dekat filem pantulan-retro (b) Mod operasi pantulan (Clarke, 1994)	39
3.8	Kepentingan penskalaan dalam pengukuran (GSI, 2006)	40
3.9	Pelbagai saiz dan bentuk palang skala (<i>scale bar</i>)	40
3.10	Proses permodelan dan visualisasi fotogrametri (Gruen, 2002)	42
3.11	Pandangan dekat model 3D Patung Buddha Bamiyan dalam bentuk <i>WireFrame</i> , <i>Shaded</i> dan <i>Texture</i> (Gruen <i>et al.</i> , 2002)	44
4.1	Perkakasan dan perisian projek kajian	47
4.2	Canon Powershot S400 (Canon, 2003)	48

4.3	Alat Total Station (Leica TM5100A)	50
4.4	Set kamera INCA (Intelligent Camera)	51
4.5	Replika Botol	52
4.6	Replika Paip Selinder	53
4.7	Model Kapal <i>Multi Mission Vessel</i> (MMV)	54
4.8	Kenderaan Pacuan Empat Roda Mitsubishi Pajero	55
4.9	Paparan Perisian Australis	56
4.10	Prosedur pengukuran titik objek perisian fotogrametri Australis	57
4.11	Paparan Projek	58
4.12	Paparan imej	59
4.13	Paparan grafik 3D bagi kedudukan kamera dan titik objek	59
4.14	Pemilihan unit pengukuran	60
4.15	Pemilihan jenis kamera projek	61
4.16	Penetapan direktori imej disimpan dan memuat-turun imej	62
4.17	Senarai imej yang dimuat-turun dan masih belum diproses	62
4.18	Menetapkan palang skala yang digunakan di dalam projek	63
4.19	Tetingkap <i>Relative Orientation</i> (RO) dengan paparan dua imej	64
4.20	Hasil proses RO	64
4.21	Ikon utama pengukuran titik sasaran imej	65
4.22	Tetingkap imej serta menu utama pengukuran/pendigitan	65
4.23	Proses pendigitan imej dengan bantuan tettingkap pembesaran	66
4.24	Pendigitan titik sasaran yang telah sempurna	66
4.25	Hasil proses Silangalikan	67
4.26	Hasil proses Penyegitigaan	68
4.27	Hasil proses <i>Bundle Adjustment</i> (Pelarasan Ikatan)	69
4.28	Paparan grafik koordinat 3D titik objek dan analisa ukuran jarak	70
4.29	Paparan Perisian PhotoModeler	71
4.30	Prosedur pengukuran dan permodelan objek 3D PhotoModeler 5.0	72
4.31	Paparan Projek	73
4.32	Memulakan projek perisian PhotoModeler 5.0 dan penetapan unit pengukuran	74
4.33	Pemilihan kamera dan parameter kalibrasi kamera	74
4.35	Mengimport masuk imej ke dalam perisian	75

4.36	Senarai imej yang diimport serta masih belum diproses (ditandakan dengan pangkah berwarna merah)	76
4.37	Ikon utama pendigitan titik sasaran imej	76
4.38	Pendigitan titik sasaran retro menggunakan <i>Point Mark</i>	77
4.39	Pendigitan titik sepunya modul <i>Referencing</i> dan <i>Epipolar Guide</i>	78
4.40	Tetingkap <i>Processing</i> untuk pemprosesan data	79
4.41	Keputusan dan nilai selisih pemprosesan	79
4.43	Proses penskalaan	81
4.44	Proses Putaran (<i>Rotation</i>)	81
4.45	Paparan titik objek dan kedudukan kamera dalam <i>3D Viewer</i>	82
4.46	Analisa jarak antara dua titik	83
4.47	Penyambungan titik bagi membentuk poligon	84
4.49	Model 3D dalam bentuk <i>Wireframe</i>	85
4.50	Model 3D dalam bentuk <i>Shaded</i>	86
4.51	Model 3D dalam bentuk <i>Texture</i>	87
4.52	Paparan Perisian Rhinoceros	88
4.53	Prosedur permodelan objek perisian permodelan Rhinoceros	89
4.54	Paparan Projek Perisian Rhinoceros	90
4.55	Memasukkan maklumat fail data 3D Australis	91
4.56	Paparan titik-titik koordinat 3D pada ruang paparan projek	91
4.57	Pembinaan garisan antara titik bagi penjanaan model	92
4.58	Pembentukan <i>Wireframe</i> melalui pendaftaran <i>Patch</i> pada poligon	93
4.59	Paparan Model <i>Wireframe</i>	93
4.60	Paparan Model <i>Shaded</i>	94
4.61	Paparan Model <i>Render(Solid)</i>	94
4.62	Menu <i>Analyze</i> di paparan projek	95
4.63	Arahan <i>Curvature Analysis</i> di bawah arahan <i>Surface</i> pada menu <i>Analyze</i>	96
4.64	Paparan analisa lengkung permukaan mengikut perbezaan warna	96
4.65	Paparan analisa lengkung permukaan kaedah <i>Zebra</i>	97
5.1	Plat kalibrasi dengan palang skala	100
5.2	Kedudukan kamera dan plat kalibrasi	101
5.3	Imej plat kalibrasi dan paparan proses kalibrasi perisian Australis	102
5.4	Slaid kalibrasi perisian PhotoModeler 5.0	103

5.5	Menu kalibrasi kamera bagi perisian PhotoModeler	103
5.6	Proses kalibrasi kamera bagi perisian PhotoModeler	104
5.7	Penandaan titik sasaran retro pada replika botol dan perletakan bar kalibrasi	105
5.8	Penandaan titik sasaran retro pada replika paip selinder dan perletakan bar kalibrasi	105
5.9	Penandaan titik sasaran retro pada Model Kapal MMV dan perletakan bar kalibrasi	106
5.10	Penandaan titik sasaran retro pada Kenderaan Pacuan Empat Roda dan perletakan bar kalibrasi	107
5.11	Pengambilan imej objek menggunakan kamera secara lingkaran	109
5.12(a)	Paparan akhir pemprosesan imej dengan Perisian Australis	111
5.12(b)	Paparan akhir pemprosesan imej dengan Perisian PhotoModeler	112
5.13	Prinsip pengukuran dan sistem koordinat geodetik	113
6.1	Graf bar selisih bagi ukuran garis semak arah 90 darjah	119
6.2	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 180 darjah	120
6.3	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 135 darjah	122
6.4	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak arah 225 darjah	123
6.5	Graf bar bagi selisih ukuran garisan kelengkungan model replika botol	125
6.6	Analisa kelengkungan permukaan data V-STARs kaedah <i>Surface Curvature</i>	126
6.7	Analisa kelengkungan permukaan data V-STARs kaedah <i>Surface Zebra</i>	127
6.8	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Curvature</i>	127
6.9	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Zebra</i>	128
6.10	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Curvature</i>	128
6.11	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Zebra</i>	129
6.12	Graf bar selisih bagi ukuran garis semak arah 90 darjah	131
6.13	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 180 darjah	133

6.14	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 135 darjah	134
6.15	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak arah 225 darjah	136
6.16	Graf bar bagi selisih ukuran garisan kelengkungan model Replika Paip	138
6.17	Analisa kelengkungan permukaan data V-STARS kaedah <i>Surface Curvature</i>	139
6.18	Analisa kelengkungan permukaan data V-STARS kaedah <i>Surface Zebra</i>	139
6.19	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Curvature</i>	140
6.20	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Zebra</i>	140
6.21	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Curvature</i>	141
6.22	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Zebra</i>	141
6.23	Graf bar selisih bagi ukuran garis semak arah 90 darjah	144
6.24	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 180 darjah	146
6.25	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 135 darjah	147
6.26	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak arah 225 darjah	149
6.27	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Curvature</i>	152
6.28	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Zebra</i>	153
6.29	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Curvature</i>	153
6.30	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Zebra</i>	154
6.31	Graf bar selisih bagi ukuran garis semak arah 90 darjah	156
6.32	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 180 darjah	158
6.33	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak 135 darjah	159
6.34	Graf bar bagi selisih ukuran garis semak arah 225 darjah	161
6.35	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Curvature</i>	165

6.36	Analisa kelengkungan permukaan data Australis kaedah <i>Surface Zebra</i>	165
6.37	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Curvature</i>	166
6.38	Analisa kelengkungan permukaan data PhotoModeler kaedah <i>Surface Zebra</i>	166

SENARAI ISTILAH

Bahasa Inggeris		Bahasa Melayu
Two-Dimensional (2D)	-	Dua Dimensi
Three-Dimensional (3D)	-	Tiga Dimensi
Bundle Adjustment	-	Pelarasan Bundle
Calibration	-	Kalibrasi
Convergent	-	Konvergen
Coordinate Measurement Machine	-	Mesin pengukuran koordinat
Control Point	-	Titik Kawalan
Curvature	-	Kelengkungan
Digital Camera	-	Kamera Digital
Focal Length	-	Jarak Fokus
Intersection	-	Silangan
Least Square	-	Pelarasan Ganda Dua terdikit
Marking Point	-	Titik Penandaan
Metric Camera	-	Kamera Metrik
Metrology	-	Metrologi
On-line	-	Masa nyata
Photogrammetry	-	Fotogrametri
Phototheodolite	-	Fototeodolit
Pixel	-	Piksel
Platform	-	Pelantar
Point Cloud	-	Himpunan titik

Polygon	-	Geometri Pelbagai Segi
Resection	-	Silangalikan
Retro-Reflective	-	Sasaran Pantulan Cahaya
Scanner	-	Pengimbas
Stereometric	-	Stereometrik
Substance Bar	-	Bar Substan
Surface	-	Permukaan
Test field	-	Medan Ujian
Total Station	-	Total Station
Triangulation	-	Triangulasi
Wireframe	-	Kerangka
Zebra Analysis	-	Analisa Corak Belang
Zoom In	-	Pembesaran Imej
Zoom Out	-	Pengecilan Imej

SENARAI SIMBOL

S	-	Nilai skala
a	-	Nilai penderia imej
A	-	Nilai bes kamera
f	-	Nilai jarak fokus bagi kamera
H	-	Nilai jarak dari objek ke kamera bes.
(x,y,z)	-	Koordinat x, y dan z
σ	-	Sisihan piawai
μ	-	Min (purata)

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	HALAMAN
A	Hasil pelarasan ikatan dan parameter kamera bagi proses kalibrasi kamera menggunakan perisian Australis	182
B	Hasil pelarasan ikatan dan parameter kamera bagi proses kalibrasi kamera menggunakan perisian PhotoModeler	185
C	Imej Objek Replika Botol	187
D1	Hasil Pemprosesan Imej dan Koordinat 3D Objek Replika Botol Perisian Australis	188
D2(a)	Hasil Pemprosesan Imej Objek Replika Botol Perisian PhotoModeler	197
D2(b)	Hasil Koordinat 3D Pemprosesan Imej Objek Replika Botol Perisian PhotoModeler	202
E1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D Australis bagi Objek Replika Botol	205
E2	Hasil Penjanaan Model Replika Botol menggunakan data Australis dengan paparan <i>wireframe</i>	206
F	Hasil Penjanaan Model objek Replika Botol menggunakan data Australis dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	207
G1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D PhotoModeler bagi Objek Replika Botol	208

G2	Hasil Penjanaan Model Replika Botol menggunakan data PhotoModeler dengan paparan <i>wireframe</i>	209
G3	Hasil Penjanaan Model objek Replika Botol menggunakan data PhotoModeler dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	210
H	Imej Objek Replika Paip Selinder	211
I1	Hasil Pemprosesan Imej dan Koordinat 3D Objek Replika Paip Selinder Perisian Australis	212
I2(a)	Hasil Pemprosesan Imej Objek Replika Paip Selinder Perisian PhotoModeler	219
I2(b)	Hasil Koordinat 3D Pemprosesan Imej Objek Replika Paip Selinder Perisian PhotoModeler	226
J1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D Australis bagi Objek Replika Paip Selinder	227
J2	Hasil Penjanaan Model Replika Paip Selinder menggunakan data Australis dengan paparan <i>wireframe</i>	228
J3	Hasil Penjanaan Model Objek Replika Paip Selinder menggunakan data Australis dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	229
K1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D PhotoModeler bagi Objek Replika Paip Selinder	230
K2	Hasil Penjanaan Model Replika Paip Selinder menggunakan data PhotoModeler dengan paparan <i>wireframe</i>	231
K3	Hasil Penjanaan Model Objek Replika Paip Selinder menggunakan data PhotoModeler dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	232
L	Imej Objek Model Kapal MMV	233
M1	Hasil Pemprosesan Imej dan Koordinat 3D Objek Model Kapal MMV Perisian Australis	234

M2(a)	Hasil Pemrosesan Imej Objek Model Kapal MMV Perisian PhotoModeler	242
M2(b)	Hasil Koordinat 3D Pemrosesan Imej Objek Model Kapal MMV Perisian Australis	246
N1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D Australis bagi Model Kapal MMV	250
N2	Hasil Penjanaan Model Kapal MMV menggunakan data Australis dengan paparan <i>Wireframe</i>	251
N3	Hasil Penjanaan Model Kapal MMV menggunakan data Australis dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	252
O1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D PhotoModeler bagi Model Kapal MMV	253
O2	Hasil Penjanaan Model Kapal MMV menggunakan data PhotoModeler dengan paparan <i>Wireframe</i>	254
O3	Hasil Penjanaan Model Kapal MMV menggunakan data PhotoModeler dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	255
P	Imej Objek Kenderaan Pacuan 4 Roda Mitsubishi Pajero	256
Q1	Hasil Pemrosesan Imej dan Koordinat 3D Objek Kenderaan Pacuan 4 Roda Mitsubishi Pajero Perisian Australis	257
Q2(a)	Hasil Pemrosesan Imej Objek Kenderaan Pacuan 4 Roda MitsubishiPajero Perisian PhotoModeler	265
Q2(b)	Hasil Koordinat 3D Pemrosesan Imej Objek Kenderaan Pacuan 4 Roda MitsubishiPajero Perisian PhotoModeler	269
R1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D Australis bagi Kenderaan Pacuan 4 Roda Pajero	274
R2	Hasil Penjanaan Model Pacuan Empat Roda menggunakan data Australis dengan paparan <i>Wireframe</i>	275
R3	Hasil Penjanaan Model Pacuan Empat Roda menggunakan data Australis dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	276

S1	Kedudukan Kamera dan Titik 3D PhotoModeler bagi Kendaraan Pacuan 4 Roda Pajero	277
S2	Hasil Penjanaan Model Pacuan Empat Roda menggunakan data PhotoModeler dengan paparan <i>Wireframe</i>	278
S3	Hasil Penjanaan Model Pacuan Empat Roda menggunakan data PhotoModeler dengan paparan permukaan <i>Shaded</i>	279

BAB 1

PENGENALAN KAJIAN

1.1 Pendahuluan

Kaedah fotogrametri boleh digunakan untuk memodelkan pelbagai objek bagi aplikasi fotogrametri jarak dekat. Model tiga dimensi (3D) objek diperlukan dalam pelbagai bidang seperti industri, perubatan, senibina, arkeologi, perancangan bandar, forensik dan sebagainya. Lebih dari 30 tahun dahulu pendekatan kaedah fotogrametri secara analog dan analitikal biasa digunakan di seluruh dunia bagi tujuan penyelesaian kerja-kerja permodelan 3D dalam bidang kejuruteraan, perubatan, senibina dan juga arkeologi.

Berikutan dengan perkembangan dalam teknologi mikro-elektronik dan semikonduktor, fotogrametri secara umumnya turut menerima lonjakan kearah penggunaan teknologi digital dalam bidang ini. Pembangunan penderia baru seperti kamera digital dan perkakasan komputer yang berteknologi tinggi telah membuka ruang baru ke arah tersebut. Sistem pemprosesan dan perolehan data fotogrametri digital mula diperkenalkan dan telah mendapat tempat di kalangan ahli fotogrametri pada tahun 1984 di 15th International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, Rio de Janeiro, Brazil (Gruen, 1996).

Dalam tempoh 10 tahun, fotogrametri jarak dekat digital telah berkembang jauh serta mampu menyediakan teknik yang bersesuaian dan berkejituan bagi pengukuran 3D. Perkembangan ini bermula dengan pembangunan kamera metrik yang dikhususkan bagi pengukuran industri (Brown, 1984), diikuti dengan pengukuran filem secara automatik (Brown, 1987) dan pemprosesan data berasaskan komputer peribadi (Fraser & Brown, 1986).

Pada penghujung tahun 1980an dan di awal 1990an, pembangunan fotogrametri dalam bidang perindustrian lebih menumpu kepada pembangunan sistem yang lebih pantas dan berketepatan tinggi. Ini termasuklah penghasilan sistem baru dalam melakukan pengukuran koordinat objek 3D melalui pendekatan monoskopi atau konvergen (Gruen, 1994). Hasilnya, tiada lagi penggunaan sistem yang berasaskan kepada filem dan sistem teodolit digital dalam aplikasi perindustrian seperti pemeriksaan dalam pembuatan kapal terbang, pemeriksaan pembinaan kapal dan baikpulih komponen nuklear dalam industri nuklear. Kaedah ini turut memperbaiki kaedah stereoskopi digital sediaada, terutamanya di dalam industri pembuatan kereta (Fraser, 1996).

1.2 Pernyataan Masalah

Penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat untuk pelbagai ruang aplikasi di negara ini masih lagi dilihat sebagai satu pendekatan baru, walaupun sebenarnya bidang ini telah jauh kematangannya melalui proses perkembangan yang pesat seiring dengan perkembangan teknologi terkini. Di antara faktor-faktor yang menjadikan kaedah fotogrametri jarak dekat sebagai satu pendekatan baru ialah sistem (perkakasan dan perisian) yang dibangunkan hanya untuk aplikasi khusus, terlalu mahal dan memerlukan pengguna yang terlatih untuk mengoperasikannya.

Perkembangan penggunaan imej digital dalam proses pengukuran menggunakan kaedah ini, disamping penggunaan teknik pengukuran imej konvergen dan penggunaan kamera bukan metrik telah membuka mata pengguna yang rata-ratanya bukan ahli fotogrametri untuk mengaplikasikan kaedah ini dalam bidang mereka. Ini didorong lagi dengan kewujudan kamera digital yang mempunyai resolusi yang tinggi dipasaran dan boleh dimiliki dengan harga yang murah. Kamera ini sesuai untuk pengukuran pada kelas pertengahan dengan ketepatan antara 1 : 5000 sehingga 1 : 20, 000. Kelas ini sesuai untuk beberapa aplikasi seperti senibina dan arkeologi, pengukuran forensik, dokumentasi kejuruteraan dan pelbagai lagi bidang (Fraser, 2004).

Keupayaan permodelan dan visualisasi 3D hasil dari pengukuran terhadap imej digital menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat seharusnya menjadi dorongan kepada pihak-pihak yang terlibat menggunakan teknik yang lebih efektif dan sesuai dalam perekodan dan pengukuran objek-objek seperti model kapal, kereta, bangunan dan sebagainya. Ini turut disokong dengan pembangunan yang berterusan terhadap perkakasan dan perisian pemprosesan fotogrametri, termasuklah kemajuan permodelan secara grafik dan pembangunan automasi pengukuran untuk digunakan bersama kamera digital kos rendah.

Sukari Mamat (1995) dan Mohd. Zamani *et al.* (2001) dalam kajiannya pernah menentang penggunaan pita ukur, pelantar, benang dan alat *spirit level* dalam bidang seni bina kapal. Penggunaan peralatan tersebut bukan sahaja memakan masa terutamanya melibatkan objek bersaiz besar, malah memungkinan berlakunya kesilapan manusia dan pengukuran semula adalah satu perkara yang sebaik-baiknya dielakkan.

Penggunaan mesin pengukuran koordinat *Coordinate Measuring Machine* (CMM) dalam kerja-kerja kejuruteraan balikan dan semakan dimensi telah lama dipraktikkan (Sukari Mamat, 1995). Penggunaan mesin ini memerlukan kos yang tinggi dan tidak boleh digerakkan sewenangnya untuk kepelbagaian objek dan bidang.

Menurut Syed Zainol (1993) bagi kerja-kerja pemeliharaan dan pemuliharaan bangunan atau monumen kaedah pengukuran terus menggunakan pita ukur dan gambar berskala adalah kaedah utama yang digunakan. Kaedah pengukuran seperti ini biasanya dilakukan mengikut keperluan dan keadaan semasa sesebuah bangunan atau monumen tersebut.

Hasil pengukuran konvensional biasanya perlu dimasukkan secara manual dan perlu diterjemahkan ke dalam lukisan untuk tujuan paparan pelan 2D atau paparan model tiga dimensi 3D. Anuar *et al* (1995) misalnya telah menggunakan kaedah fotogrametri analitik untuk menghasilkan pelan bot persiaran.

Kebanyakan pendekatan yang digunakan dilihat boleh dipermudahkan melalui penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat. Melaluinya kos, masa dan tenaga boleh dijimatkan di samping peningkatan ketepatan pengukuran. Oleh yang demikian, negara umumnya melalui agensi-agensi berkenaan perlu memanfaatkan perkembangan teknologi ini untuk kemudahan bersama.

1.3 Objektif Kajian

Matlamat kajian ini adalah untuk menilai keupayaan kaedah fotogrametri jarak dekat dalam melakukan pengukuran dan permodelan objek merangkumi kepelbagaian saiz dan bentuk objek.

Bagi memenuhi matlamat kajian, objektif kajian ini terbahagi kepada dua bahagian utama iaitu : -

- a) Mengkaji keupayaan pengukuran koordinat 3D dengan menggunakan perisian Fotogrametri Australis dan PhotoModeler, seterusnya penjanaan model 3D data pengukuran dengan menggunakan perisian Rhinoceros.
- b) Melakukan perbandingan hasil pengukuran koordinat dan penjanaan model 3D berdasarkan kepada kedua-dua perisian.

1.4 Skop Kajian

Skop utama kajian ini merangkumi beberapa aspek penyelidikan seperti pemahaman konsep, aplikasi dan pelaksanaan projek di bawah kategori kos rendah. Oleh itu, dalam kajian ini dua perisian fotogrametri jarak dekat digunakan. Di samping itu satu perisian sokongan digunakan untuk tujuan penjanaan model 3D. Dalam kajian ini juga, satu kamera digital kos rendah yang mempunyai resolusi tinggi digunakan. Kajian ini terbahagi kepada empat kes khusus pengukuran dan permodelan 3D iaitu kes I (Replika Botol), kes II (Replika Paip Selinder), kes III (Model Kapal *Multi Mission Vessel* (MMV) dan Kes IV (Kenderaan Pacuan Empat Roda Mitsubishi Pajero).

1.5 Metodologi

Dalam kajian ini, seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 1.1**, metodologi dibahagikan kepada tiga peringkat utama iaitu;

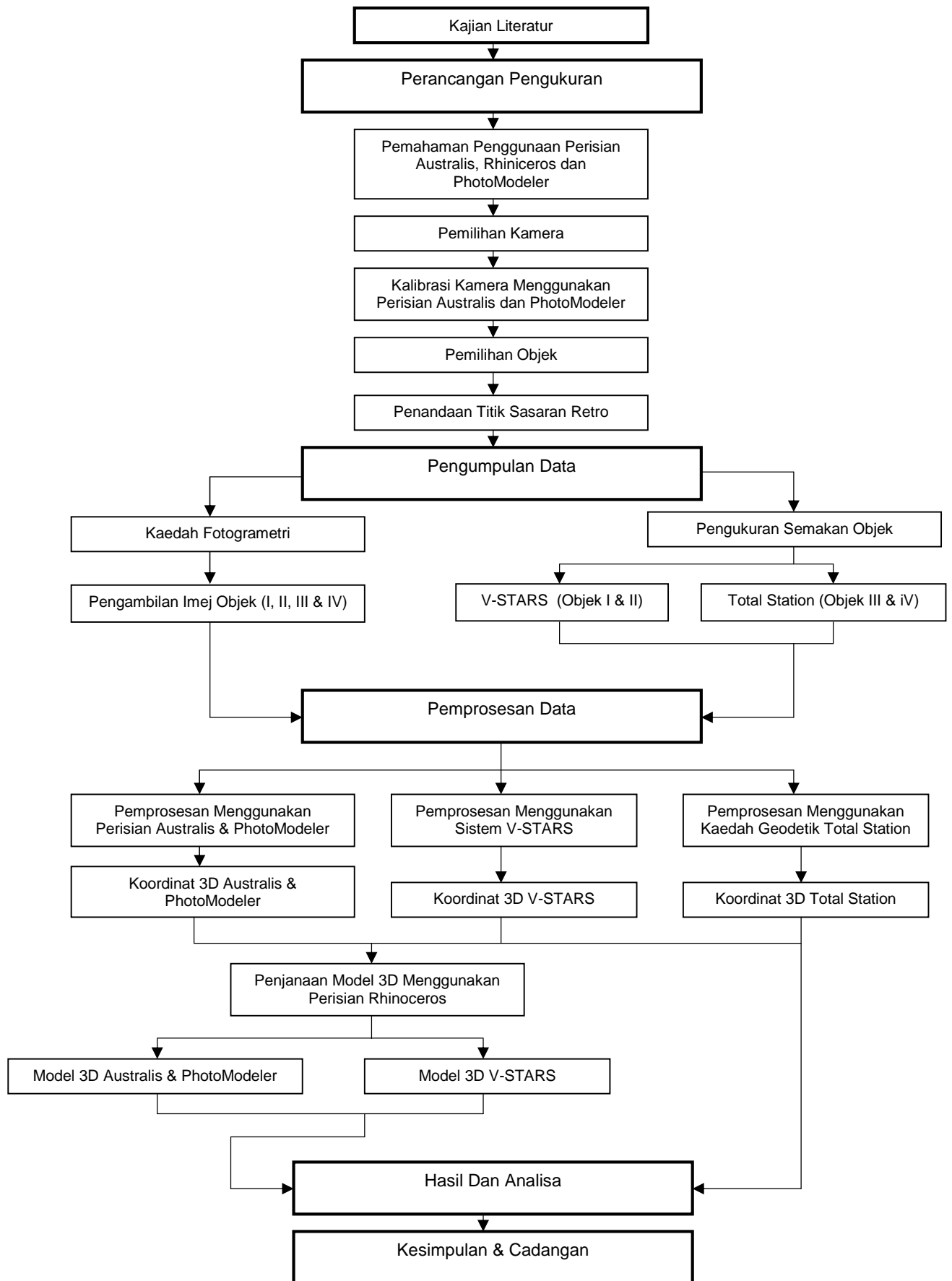
- i) Perancangan pengukuran
- ii) Pengumpulan data di lapangan dan,
- iii) Pemprosesan dan penganalisan data

Sebelum kerja lapangan dimulakan, perancangan awal dan persediaan khusus perlu dilaksanakan terlebih dahulu. Kerja-kerja perancangan merangkumi proses-proses seperti pemilihan objek, pemilihan peralatan, penandaan titik sasaran dan perancangan penggambaran. Peringkat ini penting untuk mendapatkan segala maklumat tentang rekabentuk dan ukuran dimensi awal bagi sesuatu objek.

Bagi kerja di lapangan, ianya dimulakan dengan proses pengumpulan data iaitu pengambilan imej objek dari pelbagai sudut seperti yang telah dirancang. Segala titik sasaran objek dan kawalan perlulah saling nampak mengikut kedudukan dan rupabentuk fizikal objek tersebut.

Setelah pengumpulan data selesai, proses memindah turun data dari kamera ke ruang setoran komputer dilakukan. Data yang berupa imej objek, kemudiannya dimuat-turunkan kedalam perisian Australis dan PhotoModeler. Seterusnya diikuti dengan kerja-kerja pemrosesan data yang merangkumi beberapa prosedur seperti pendigitan titik, pemadanan titik sepunya dan pendigitan titik kawalan. Hasil daripada pemrosesan imej adalah berupa koordinat dan paparan 3D titik-titik objek

Seterusnya, perisian permodelan Rhinoceros digunakan bagi memodelkan koordinat 3D titik objek yang diperolehi menggunakan perisian Australis. dan PhotoModeler. Akhir sekali, apabila proses penjanaan model 3D diselesaikan, model 3D objek akan dipaparkan. Semakan hasil pengukuran dan permodelan dilakukan menggunakan perisian Australis dan PhotoModeler dibuat dengan membandingkannya dengan sistem pengukuran V-STARS dan kaedah ukuran Geodetik.



Rajah 1.1 : Metodologi Kajian

1.6 Rumusan Aliran Bab

Tesis ini terbahagi kepada tujuh bab. Dalam bab satu, topik perbincangan bermula dengan pengenalan kajian yang merangkumi pernyataan masalah, objektif kajian, skop kajian dan metodologi kajian.

Dalam bab dua pula, topik perbincangan adalah berkaitan dengan bidang fotogrametri khususnya dalam bidang fotogrametri jarak dekat digital. Manakala dalam bab tiga, perbincangan adalah lebih memfokuskan kepada penjanaaan model 3D merangkumi kaedah perolehan data pengukuran untuk tujuan penjanaaan model tersebut.

Manakala dalam bab empat pula, topik perbincangan adalah lebih berkisar kepada objek kajian dan perisian yang digunakan di dalam kajian ini. Bab ini turut membincangkan secara terperinci prosedur pengukuran koordinat 3D menggunakan perisian tersebut. Dalam bab lima, topik perbincangan adalah berkaitan tentang metodologi kajian yang merangkumi penerangan tentang pengumpulan dan pemprosesan data.

Seterusnya dalam bab enam, topik perbincangan adalah merujuk kepada penjelasan tentang hasil dan analisis kajian. Dalam bab yang terakhir iaitu bab tujuh, topik perbincangan adalah berkaitan dengan kesimpulan dan cadangan yang diperolehi daripada kajian.