

PENILAIAN KETEPATAN KAMERA DIGITAL BERASASKAN KETINGGIAN
PENERBANGAN MENGGUNAKAN PESAWAT TANPA PEMANDU UNTUK
TUJUAN PEMETAAN

MOHD JURAI DI BIN AHMAD

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi
syarat penganugerahan ijazah
Sarjana Falsafah

Fakulti Alam Bina dan Ukur

TeknologiMalaysia

OGOS 2020

DEDIKASI

Didedikasikan untuk:

Isteri tercinta, Siti Fatimah Binti Abdullah. Permata hati tersayang, Juwita Aulya Binti Mohd Juraidi, Muhammad Farhan Afeeq Bin Mohd Juraidi, Khadeeja Az Zahra Binti Mohd Juraidi dan Muhammad Firdaus Affaan Bin Mohd Juraidi serta seluruh ahli keluarga. Terima kasih di atas doa, kasih sayang, semangat dan sokongan yang berterusan selama ini.

PENGHARGAAN

Dikesempatan ini saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia projek iaitu Prof. Madya Dr. Anuar Bin Ahmad atas sokongan dan bantuan beliau dalam menyiapkan projek ini.

Terima kasih juga kepada rakan-rakan dan keluarga yang turut membantu dalam menyumbang segala masa dan tenaga dalam menyiapkan karya ini.

ABSTRAK

Pesawat Udara Tanpa Pemandu (UAV) adalah salah satu cara alternatif untuk meringankan proses memperoleh data dengan kos operasi dan pembuatan yang lebih rendah serta mudah digunakan. UAV digunakan secara meluas dalam pelbagai bidang seperti ketenteraan, arkeologi, pertanian dan penyelidikan saintifik. Tujuan kajian ini adalah untuk menilai ketepatan kamera berdigit berasaskan ketinggian penerbangan yang berbeza menggunakan UAV untuk tujuan pemetaan, dengan memberi tumpuan kepada pemetaan topografi dan pengemaskinian peta. Dalam kajian ini, perisian Agisoft Photoscan Professional, AutoCAD Civil 3D dan ArcGIS 10 digunakan untuk memproses imej UAV dan membuat analisis. Titik Kawalan Bumi (TKB) dan Titik Semakan (TS) telah diwujudkan menggunakan kaedah Sistem Penentuan Posisi Sejagat secara Kinematik Masa Hakiki (RTK-GPS). Empat hasil ditemui dari kajian ini iaitu ortofoto, Model Rupabumi Digital (DTM), garis kontor dan peta topografi. Analisis terhadap hasil kajian dibuat berdasarkan tiga ketinggian penerbangan yang berbeza iaitu 250 meter, 300 meter dan 350 meter dan dua resolusi kamera yang berbeza iaitu 12 megapiksel dan 24 megapiksel. Keputusan kajian ini menunjukkan kejituan planimetri dan ketinggian hasil fotogrametri dari imej UAV yang diproses menggunakan 25 titik TKB dan 10 TS. Nilai Ralat Min Punca Kuasa Dua (RMSE) ortofoto pada ketinggian penerbangan 250 meter adalah $U = \pm 0.128$ meter, $T = \pm 0.154$ meter dan $H = \pm 0.256$ meter. Pada ketinggian penerbangan 300 meter, nilai RMSE adalah $U = \pm 0.33$ meter, $T = \pm 0.343$ meter dan $H = \pm 0.454$ meter, sementara pada 350 meter nilainya adalah $U = \pm 0.403$ meter, $T = \pm 0.378$ meter dan $H = \pm 0.482$ meter. Keputusan kajian ini menunjukkan bahawa ketepatan planimetri yang dicapai (U, T) adalah kurang dari satu meter manakala ketepatan ketinggian (H) adalah dua kali ganda nilainya berbanding nilai ketepatan planimetri. Hasilnya juga menunjukkan bahawa ketepatan planimetri dan ketinggian bertambah baik apabila resolusi kamera berdigit meningkat. Daripada kajian ini, dapat disimpulkan bahawa sistem UAV berpotensi besar untuk digunakan untuk tujuan pemetaan.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are one of the alternative ways to simplify the process of obtaining data with lower operating and manufacturing costs as well as ease of use. UAVs are widely used in various fields such as military, archeology, agriculture and scientific research. The purpose of this study is to evaluate the accuracy of digital cameras based on different flying heights using UAVs for mapping purposes, with a specific focus on topographic mapping and map updating. In this study, Agisoft Photoscan Professional, AutoCAD Civil 3D and ArcGIS 10 software were used to process UAV images and to conduct the analysis. Ground Control Point (GCP) and Check Point (CP) have been established using Real Time Kinematic Global Positioning System (RTK-GPS). Four results emerged from this study namely orthophoto, Digital Terrain Model (DTM), contour lines and topographic maps. The analyses of the results were conducted using three different flying heights i.e. 250 meters, 300 meters and 350 meters and two different camera resolutions i.e. 12 megapixels and 24 megapixels. The results of this study reveal the accuracy of planimetric and the height of photogrammetric based on UAV images processed using 25 GCP and 10 CP. The Root Mean Squared Error (RMSE) values of orthophoto at a flying height of 250 meters are $N = \pm 0.128$ meter, $E = \pm 0.154$ meter and $H = \pm 0.256$ meter. At a flying height of 300 meters, the values of RMSE are $N = \pm 0.33$ meter, $E = \pm 0.343$ meter and $H = \pm 0.454$ meter, while at 350 meters the values are $N = \pm 0.403$ meter, $E = \pm 0.378$ meter and $H = \pm 0.482$ meter. The results of this study show that the accuracy of planimetric achieved (N, E) is less than one meter while the accuracy of height (H) is twice compared to the value of planimetric accuracy. Also, the results demonstrate that both planimetric and height accuracies are better when the resolution of digital cameras increases. From this study, it can be concluded that the UAV system has a great potential to be used for mapping purposes.

SENARAI KANDUNGAN

	TAJUK	MUKA SURAT
	PENGAKUAN	iii
	DEDIKASI	iv
	PENGHARGAAN	v
	ABSTRAK	vi
	ABSTRACT	vii
	SENARAI KANDUNGAN	ix
	SENARAI JADUAL	xii
	SENARAI RAJAH	xiii
	SENARAI SINGKATAN	xv
	SENARAI LAMPIRAN	xvi
BAB 1	Pengenalan	1
	1.1 Latar Belakang Kajian	1
	1.2 Pernyataan Masalah	2
	1.3 Tujuan Kajian	3
	1.4 Objektif Kajian	3
	1.5 Skop Kajian	3
	1.6 Kepentingan Kajian	5
	1.7 Metodologi Kajian	6
	1.8 Struktur Tesis	8
BAB 2	Kajian Literatur	11
	2.1 Pengenalan Fotogrametri	11
	2.2 Cawangan Fotogrametri	12
	2.2.1 Fotogrametri Udara	13
	2.2.2 Fotogrametri Bumi	15
	2.2.2.1 Konsep Fotogrametri Udara	16

2.3	Fotogrametri Berdigit	18
2.4	Kamera Fotogrametri	22
	2.4.1 Kamera Berdigit	24
2.5	Produk Fotogrametri	26
	2.5.1 Mozek Udara	26
	2.5.1.1 Klasifikasi Mozek Udara	27
	2.5.2 Model Rupabumi Berdigit	28
	2.5.3 Ortofoto	29
	2.5.4 Peta Topografi	29
	2.5.4.1 Definisi	29
	2.5.4.2 Sejarah Peta Topografi	31
	2.5.4.3 Peta Topografi Di Malaysia	34
2.6	Pesawat Tanpa Pemandu (UAV)	35
	2.6.1 Sejarah UAV	36
	2.6.2 UAV Dalam Ketenteraan	37
2.7	Jenis UAV	39
	2.7.1 Pengkelasan Mengikut Berat	40
	2.7.2 Pengkelasan Mengikut Jenis Enjin	42
	2.7.3 Pengkelasan Mengikut Ketahanan dan Jarak	42
	2.7.4 Pengkelasan Mengikut Ketinggian	43
2.8	Kelebihan UAV	44
2.9	Kelemahan UAV	46
2.10	UAV Dalam Bidang Pemetaan	48
2.11	Aplikasi UAV	49
	2.11.1 Pertanian	49
	2.11.2 Pembinaan	49
	2.11.3 Penyelidikan Hidupan Liar	50
	2.11.4 Kajian Cuaca dan Alam Sekitar	50
2.12	Analisis Kuantitatif dan Kualitatif	50
	2.12.1 Analisis Kuantitatif	51
	2.12.2 Analisis Kualitatif	52
2.13	Rumusan	52

BAB 3	METODOLOGI KAJIAN	53
3.1	Pendahuluan	53
3.2	Fasa Pertama – Rekabentuk Kajian	55
3.3	Fasa Kedua - Perancangan Kajian	55
	3.3.1 Penyediaan Peralatan	55
	3.3.2 Perancangan Penerbangan	59
	3.3.3 Penubuhan Titik Kawalan Bumi dan Titik Semakan	63
3.4	Fasa Ketiga – Pemprosesan Data	65
	3.4.1 Pemprosesan Foto Udara Berdigit Dengan Perisian <i>Agisoft Photoscan</i>	66
	3.4.1.1 Penyelarasan Foto	67
	3.4.1.2 Pemodelan Geometri	67
	3.4.1.3 Pembentukan Tekstur	68
	3.4.1.4 Pendigitan Titik Kawalan Bumi	69
	3.4.1.5 Ekspot Mozek Ortofoto dan DTM	69
3.5	Pendigitan Mozek Ortofoto	70
3.6	Fasa Keempat – Peta Topografi	71
3.7	Rumusan	72
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS	73
4.1	Pendahuluan	73
4.2	Ortofoto	73
4.3	Model Rupabumi Berdigit (DTM)	75
4.4	Garis Kontur	77
4.5	Analisis Kuantitatif	81
4.6	Peta Topografi	83
4.7	Rumusan	84
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	85
5.1	Pengenalan	85
5.2	Kesimpulan	85
5.3	Cadangan	86
RUJUKAN		87
LAMPIRAN		92

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
Jadual 1.1	Spesifikasi Kamera Berdigit	5
Jadual 2.1	Perbezaan antara kamera metric dan kamera bukan metrik/semi metrik	23
Jadual 2.2	Pengelasan UAV mengikut berat	42
Jadual 2.3	Pengelasan UAV mengikut ketahanan dan jarak	43
Jadual 2.4	Pengelasan UAV mengikut ketinggian maksimum	44
Jadual 3.1	Senarai peralatan yang digunakan	56
Jadual 3.2	Spesifikasi UAV MTD	58
Jadual 3.3	Spesifikasi kamera digital	58
Jadual 3.4	Perisian-perisian yang digunakan dalam kajian	66
Jadual 4.1	Perbezaan koordinat ortofoto dan titik semakan (TS) pada ketinggian penerbangan 250 meter	81
Jadual 4.2	Perbezaan koordinat ortofoto dan titik semakan (TS) pada ketinggian penerbangan 300 meter	82
Jadual 4.3	Perbezaan koordinat ortofoto dan titik semakan (TS) pada ketinggian penerbangan 350 meter	82
Jadual 4.4	RMSE ortofoto berdasarkan tiga ketinggian penerbangan	82

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
Rajah 1.1	Kawasan kajian	4
Rajah 1.2	Carta alir metodologi kajian secara ringkas	7
Rajah 2.1	Konsep foto udara tegak	13
Rajah 2.2	Konsep foto udara senget	14
Rajah 2.3	Konsep foto udara Oblik	15
Rajah 2.4	Konsep tindihan sisi dan tindihan hujung antara imej foto udara	18
Rajah 2.5	Perkembangan teknologi fotogrametri	19
Rajah 2.6	Kamera Metrik dan kamera bukan metric	22
Rajah 2.7	Jenis kamera digital professional dan amatur	25
Rajah 2.8	Ortofoto mozek terkawal	27
Rajah 2.9	DTM bagi kawasan Orange River, Afrika Selatan	29
Rajah 2.10	Ortofoto bagi kawasan	30
Rajah 2.11	Blok rajah peta topografi	32
Rajah 2.12	Peta topografi	33
Rajah 2.13	<i>The Montgolfier Brother's Ballon</i>	37
Rajah 2.14	<i>Kattering Bug dan Fiester F1 103 VI</i>	38
Rajah 2.15	UAV Global Hawk	38
Rajah 2.16	Kelas berat melebihi 2000 kg	40
Rajah 2.17	kategori berat antara 200 kg sehingga 2000 kg	41
Rajah 2.18	UAV <i>Raven</i> , UAV <i>AS-12</i> dan UAV <i>Dragon Eyes</i>	41
Rajah 3.1	Carta alir metodologi kajian	54
Rajah 3.4	Jalur penerbangan bagi sebahagian kawasan kajian	60
Rajah 3.5	Jalur penerbangan bagi seluruh kawasan kajian	60
Rajah 3.6	Bacaan <i>Solar Storm</i> pada 7 hingga 9 Oktober 2013	62
Rajah 3.7	Titik kawalan bumi (TKB) dan titik semakan (TS) bagi seluruh Kawasan kajian	64
Rajah 4.1	Mozek ortofoto pada ketinggian 250 meter	74
Rajah 4.2	Mozek ortofoto pada ketinggian 300 meter	74
Rajah 4.3	Mozek ortofoto pada ketinggian 350 meter	75

Rajah 4.4	DTM kawasan kajian pada ketinggian 250 meter	76
Rajah 4.5	DTM kawasan kajian pada ketinggian 300 meter	76
Rajah 4.6	DTM kawasan kajian pada ketinggian 350 meter	77
Rajah 4.7	Garis kontur pada sela 5m di ketinggian 250 meter	78
Rajah 4.8	Garis kontur pada sela 10m di ketinggian 250 meter	78
Rajah 4.9	Garis kontur pada sela 5m di ketinggian 300 meter	79
Rajah 4.10	Garis kontur pada sela 10m di ketinggian 300 meter	79
Rajah 4.11	Garis kontur pada sela 5m di ketinggian 350 meter	80
Rajah 4.12	Garis kontur pada sela 10m di ketinggian 350 meter	80
Rajah 4.13	Peta topografi	83

SENARAI SINGKATAN

UAV	- Unmanned Aerial Vehicle
RMSE	- Root Mean Square Error
GPS	- Global Positioning System
TKB	- Titik Kawalan Bumi
TS	- Titik Semakan
DTM	- Digital Terrain Model

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
Lampiran A	Laporan pemprosesan perisian Agisoft Photoscan Professional untuk ketinggian penerbangan 250 meter	93
Lampiran B	Peta Topografi UTM (Skala 1:1000)	102

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Teknik fotogrametri telah menjadi semakin mudah, cepat dan murah pada masa kini disebabkan oleh pembangunan teknologi di dalam bidang pemetaan. Perkembangan dalam teknologi digital telah meningkatkan kebolehpercayaan data yang diambil oleh kamera dan digunakan untuk menjadi data sebenar. Penyelidikan yang berkaitan dengan pemetaan menggunakan kamera bukan metrik menjadi lebih popular kerana kos yang lebih rendah dan menjimatkan masa. Terdapat banyak faktor yang boleh menjejaskan ketepatan koordinat planimetri dan ketinggian seperti kanta kamera, ketinggian penerbangan, resolusi imej, format kamera digital dan banyak lagi.

Kajian ini mengkaji ketepatan kamera digital berasaskan ketinggian penerbangan menggunakan pesawat udara tanpa pemandu untuk tujuan pemetaan. Ketepatan yang dihasilkan daripada imej UAV yang diproses menggunakan titik kawalan bumi (TKB) dan dibandingkan dengan titik semakan (TS). Data titik kawalan bumi dan titik semakan diperoleh menggunakan teknik Sistem Penentuan Lokasi Sejagat (GPS). Kajian ini dapat menghasilkan peta topografi dengan cara yang lebih mudah dan cepat berbanding menggunakan kaedah konvensional iaitu fotogrametri udara. Dalam kajian ini, UAV digunakan sebagai pelantar untuk mengambil imej digital menggunakan kamera digital beresolusi tinggi. Kawasan kajian adalah sekitar Universiti Teknologi Malaysia (UTM) yang terletak di Johor Bahru, Johor.

1.2 Penyataan Masalah

Terdapat banyak penyelidikan yang berkaitan dengan teknik UAV telah dilaksanakan. Kebanyakan penyelidik memberikan hasil yang baik dalam koordinat planimetri tetapi hanya segelintir sahaja penyelidik yang memberi fokus kepada kajian pada ketinggian. Tahar *et al.* (2012), dalam kajiannya menggunakan UAV dalam menghasilkan peta cerun. Beliau mendapati bahawa setiap koordinat Utara & Timur serta ketinggian merekodkan nilai RMSE $\pm 1.342\text{m}$, $\pm 1.660\text{m}$ dan $\pm 4.666\text{m}$. Hasilnya menunjukkan perbezaan yang besar pada nilai ketinggian. Beliau menyimpulkan bahawa perbezaan tersebut mungkin disebabkan oleh titik-titik ikatan yang kurang mantap.

Tahar (2013), dalam penyelidikan pemetaan cerun menggunakan UAV mikro untuk pemetaan skala besar, beliau mendapati bahawa ketinggian terbang terbaik untuk UAV adalah 80 meter di atas permukaan tanah dengan skala 1: 3000, tetapi hasilnya menunjukkan ketepatan ketinggian adalah +3 meter dan +40 sentimeter untuk koordinat planimetri. Beliau menyimpulkan bahawa perbezaan tersebut mungkin berpunca dari had kanta kamera.

Tambahan pula, Ahmad (2011), dalam penyelidikannya menggunakan UAV ketinggian rendah untuk pemetaan digital, perbezaan koordinat ketinggian antara ketinggian daratan dari GPS dan ketinggian tanah dari produk perisian Erdas Imagine mencapai 1,595 meter. Dalam penyelidikannya, beliau menggunakan kamera digital format kecil dan ketepatan tinggi dapat dicapai berbanding kamera metrik format besar. Menurut Tahar dan Ahmad (2012), UAV boleh digunakan untuk tujuan pemetaan muka bumi dan mendapati bahawa RMSE untuk UAV sayap tetap masing-masing adalah $\pm 0.002\text{ m}$, $\pm 0.001\text{ m}$, $\pm 0.214\text{ m}$ untuk koordinat X, Y dan Z dan untuk UAV berbilang rotor masing-masing adalah $\pm 0.002\text{ m}$, $\pm 0.002\text{ m}$, $\pm 0.223\text{ m}$ untuk koordinat X, Y dan Z.

Dari penyelidikan terdahulu, terdapat banyak faktor yang mempengaruhi koordinat ketinggian. Maka kajian ini akan memfokuskan kepada penggunaan UAV sayap tetap dan kamera digital perbagai resolusi untuk menentukan ketepatan planimetri dan ketinggian bagi menghasilkan peta topografi.

1.3 Tujuan Kajian

Tujuan kajian ini adalah untuk menilai kamera digital pelbagai resolusi tinggi menggunakan pesawat udara tanpa pemandu untuk menghasilkan peta topografi.

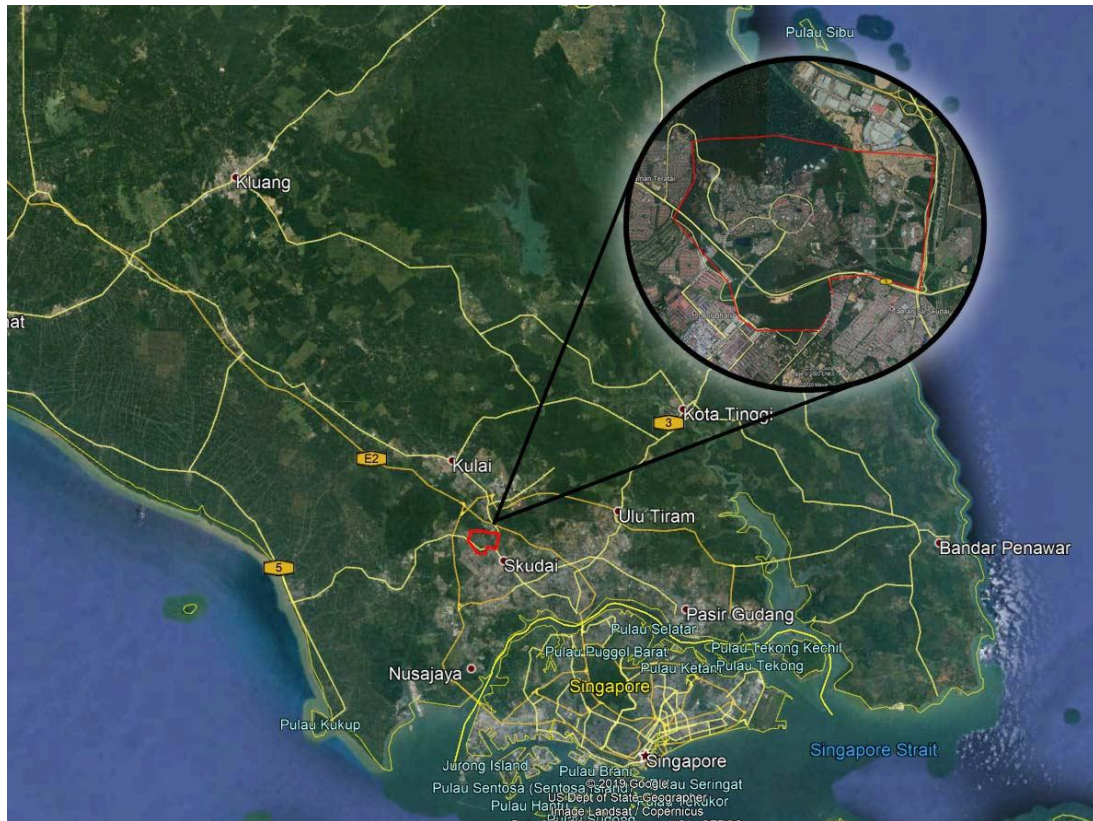
1.4 Objektif Kajian

Objektif kajian ini boleh dibahagikan kepada dua bahagian iaitu :

- i. Untuk mengkaji ketepatan kamera digital berasaskan ketinggian penerbangan menggunakan UAV untuk tujuan pemetaan.
- ii. Untuk melaksanakan kajian ketepatan planimetri (X, Y) dan ketinggian (Z) dari ortofoto yang dihasilkan.

1.5 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan di kampus utama Universiti Teknologi Malaysia (UTM) dengan beberapa nilai ketinggian di sekitar kawasan kampus. Imej kamera digital menggunakan UAV sayap tetap digunakan untuk menghasilkan ortofoto beresolusi tinggi. Rajah 1.1 menunjukkan kawasan kajian yang merangkumi seluruh kawasan kampus Universiti Teknologi Malaysia (UTM).



Rajah 1.1 Kawasan Kajian

Imej digital diambil oleh kamera digital resolusi tinggi yang dipasang pada UAV. Titik kawalan bumi (TKB) dan titik semakan (TS) ditubuhkan dari cerapan GPS iaitu melalui Kaedah RTK-GPS. TKB digunakan dalam pemprosesan imej UAV untuk menghasilkan peta topografi manakala TS akan digunakan untuk analisis dalam tesis ini.

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam kajian ini terdiri daripada UAV sayap tetap, dua jenis kamera digital beresolusi 12 megapiksel dan 24 megapiksel, alat kawalan jauh, computer riba, peralatan GNSS (RTK-GPS). Penerangan lanjut mengenai setiap peralatan yang digunakan dalam kajian ini diterangkan dalam Bab 3. Selain daripada peralatan, terdapat juga beberapa perisian yang digunakan dalam kajian ini terdiri daripada Agisoft, ArcGIS dan Civil 3D AutoCAD. Maklumat lanjut mengenai perisian-perisian ini juga diterangkan dalam Bab 3.

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah foto udara beresolusi 12 megapiksel dan 24 megapiksel. Foto udara diambil dengan menggunakan kamera digital yang dipasang pada UAV sayap tetap pada tiga ketinggian penerbangan yang berbeza iaitu 250 meter, 300 meter dan 350 meter. Kemudian, imej-imej tersebut akan melalui proses pemprosesan bagi menghasilkan produk fotogrametri iaitu mosek ortofoto, model rupabumi berdigit (DTM), garis kontur dan akhirnya peta topografi. Spesifikasi kamera digital yang digunakan diterangkan pada Jadual 1.1. Selain daripada kamera digital, data lain yang digunakan dalam kajian ini adalah data titik kawalan bumi dan titik semakan. Kedua-dua data tersebut ditubuhkan di lapangan. Fungsi data tersebut adalah untuk digunakan untuk pemprosesan dan analisis ketepatan yang melibatkan penggunaan formula matematik yang akan diperjelaskan dengan lebih terperinci dalam Bab 3.

Jadual 1.1 Spesifikasi kamera digital

Spesifikasi	Penerangan
Model	Canon S100
Resolusi	12 megapiksel
Format	Digital
Dimensi	3000 x 4000
Format Imej	Tiff.
Spesifikasi	Penerangan
Model	Sony A6000
Resolusi	24 megapiksel
Format	Digital
Dimensi	6000 x 4000
Format Imej	Tiff.

1.6 Kepentingan Kajian

Secara amnya, kajian ini diharapkan dapat memberi manfaat sumbangan kepada semua pihak samada pihak kerajaan, swasta mahupun masyarakat umum. Beberapa manfaat boleh diperolehi daripada kajian ini antaranya adalah sebagai rujukan kepada semua pihak yang berminat khususnya dalam bidang pemetaan bagi kawasan berskala besar dengan menggunakan kamera digital dan amnya dalam

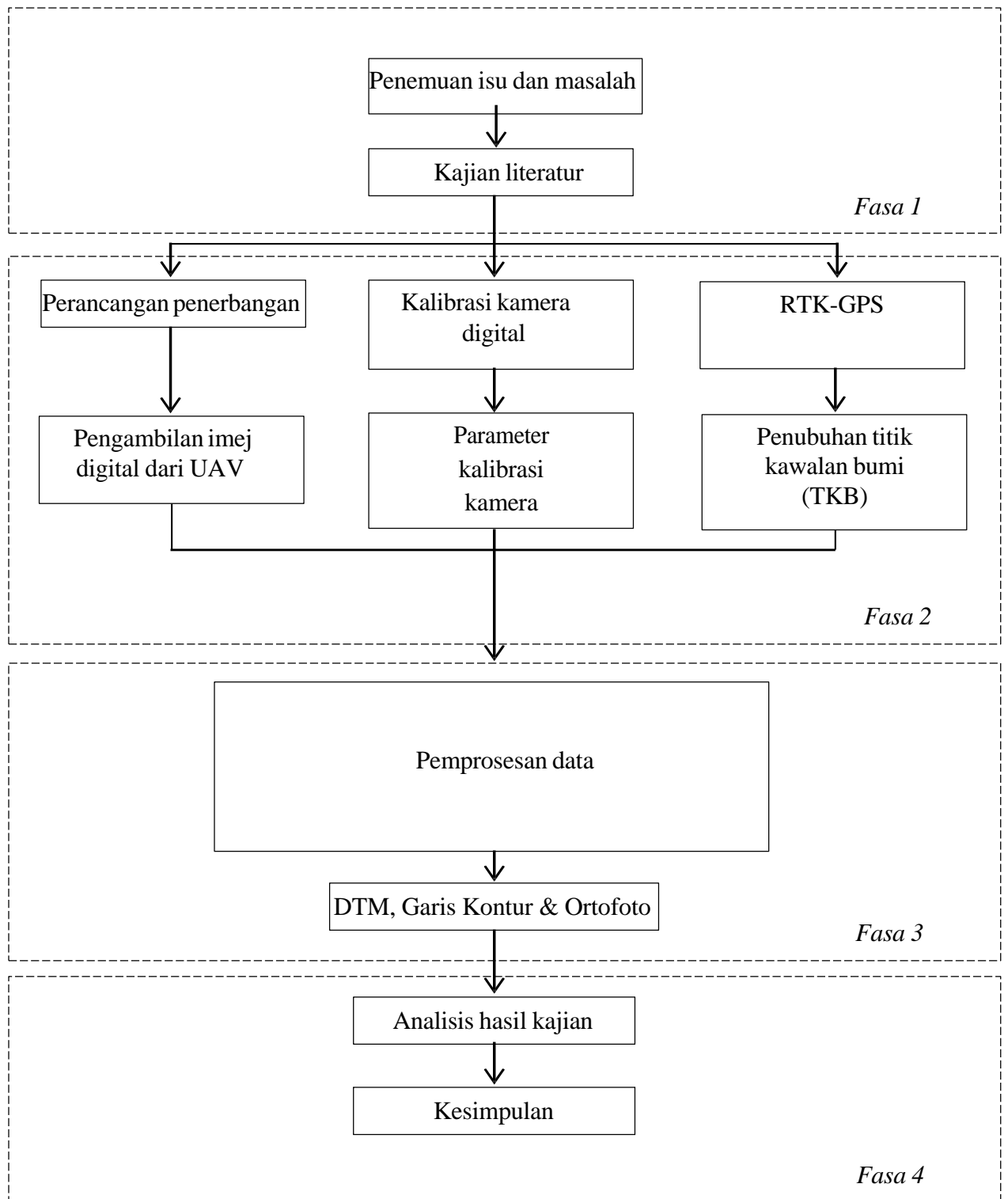
industri UAV. Menurut Mohd Hafis Mohd Room (2017), penggunaan system UAV dan kamera bukan metrik untuk tujuan pemetaan semakin berkembang kerana teknologi system UAV ada suatu teknologi yang masih baru di Malaysia dan kegunaannya bagi tujuan saintifik masih masih lg kurang diterokai. Selain itu, melalui kajian ini juga ia dapat sedikit sebanyak memberi idea kepada mana-mana pihak didalam menentukan ketepatan nilai koordinat planimetri (X, Y) dan juga nilai ketinggian (Z) dengan menggunakan kaedah UAV ini disamping dapat memperkembangkan penggunaan UAV dan kamera bukan metrik bagi tujuan pemetaan.

1.7 Metodologi Kajian

Secara umum, terdapat empat fasa dalam kajian ini iaitu kajian literatur yang berkaitan dengan persiapan kajian, pengumpulan data, pemprosesan data dan analisis data. Kajian literatur menjelaskan secara ringkas tentang fotogrametri dan perkembangan UAV dalam banyak aplikasi dan tujuan pemetaan. Penyediaan kajian memberikan penjelasan mengenai persiapan yang perlu dilakukan dalam mengumpul data seperti peralatan dan perisian yang digunakan, perancangan penerbangan dan keupayaan kamera digital.

Untuk fasa pengumpulan data, terdapat tiga data utama yang perlu dikumpulkan iaitu titik kawalan bumi (TKB) dan titik semakan (TK) yang ditubuhkan dari RTK-GPS, parameter penentukuran kamera daripada penentukuran kamera dan imej digital yang diambil oleh UAV di kawasan kajian. Penentuan lokasi TKB dan TS mestilah teratur dengan baik yang dirujuk kepada imej UAV untuk kawasan kajian.

Dalam peringkat pemprosesan, semua data diproses menggunakan perisian fotogrametri untuk menghasilkan ortofoto resolusi tinggi. Ortofoto kemudian akan dianalisis dengan TS untuk menentukan ketepatan planimetri dan ketinggian. Rajah 1.2 menunjukkan secara ringkas carta alir metodologi kajian yang dijalankan.



Rajah 1.2 Carta alir metologi kajian secara ringkas

1.8 Struktur Tesis

Tesis ini dibahagikan kepada lima bab utama dan penjelasan setiap bab diterangkan seperti berikut:

Bab 1 adalah penjelasan mengenai pengenalan kajian. Bab ini merangkumi penjelasan ringkas mengenai latar belakang penyelidikan secara ringkas, pernyataan masalah, objektif kajian, kepentingan kajian, skop kajian dan metodologi umum untuk mencapai objektif kajian. Bab ini juga menunjukkan carta alir metodologi penyelidikan secara umum yang terdiri daripada empat fasa utama.

Bab 2 adalah kajian literatur yang mempunyai hubungkait dengan konsep kajian ini. Ulasan berdasarkan sistem UAV dalam fotogrametri udara, aplikasi UAV terutamanya dalam pemetaan, resolusi imej kamera digital dan imej digital. Bab ini menerangkan prinsip asas fotogrametri udara dalam menentukan skala foto, pertindihan gambar dan kawalan fotogrametri. Selain itu, bab ini juga menerangkan mengenai perisian yang digunakan dalam memproses dan menganalisis imej UAV.

Antara topik-topik yang dibincangkan dalam bahagian ini adalah pengenalan kepada fotogrametri, pengenalan kepada sistem pesawat tanpa pemandu (UAV). Setiap topik yang dibahaskan adalah bersumberkan kepada pembacaan bahan-bahan ilmiah yang dilaporkan oleh penyelidik-penyelidik di seluruh dunia.

Bab 3 adalah metodologi penyelidikan yang menerangkan aliran kajian dengan lebih terperinci. Kaedah yang digunakan bermula dari pemerolehan data, pemprosesan data sehingga hasilnya dibincangkan dalam bab ini. Jadual aliran metodologi penyelidikan dimasukkan untuk menunjukkan kaedah kajian ini. Selain itu, bab ini juga meliputi perisian yang telah digunakan untuk memproses data UAV. Dalam kajian ini, perisian Agisoft Photoscan Version 1.2.5 digunakan untuk memproses imej UAV.

Bab 4 menerangkan hasil dan analisis kajian ini. Bab ini membincangkan penilaian ketepatan setiap hasil pada nilai koordinat planimetri (X,Y) dan ketinggian (Z). Hasilnya didasarkan pada ortofoto dan model rupa bumi digital (DTM) dengan

membandingkannya dengan data lapangan dari kaedah RTK-GPS. Analisis kajian ini dilakukan berdasarkan analisis kuantitatif dan kualitatif dengan memberi tumpuan kepada titik kawalan bumi (TKB) dan titik semakan (TS).

Bab 5 adalah kesimpulan kajian. Bab ini menyimpulkan penemuan kajian ini. Bab ini juga akan membincangkan cadangan atau cadangan bagi penambahbaikan kajian masa depan.

RUJUKAN

- Abdul Hamid (1990), *Asas Fotogrametri*. Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi, Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia.
- Ahmad, A. (2011). Digital Mapping Using Low Altitude UAV. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 19.
- Ahmad, A. (2012). Large scale mapping using digital aerial imagery of unmanned aerial vehicle. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(11).
- Alias Abdul Rahman (1994). *Model Rupabumi Berdigit*. Jabatan Geoinformatik, Fakulti Kejuruteraan & Sains Geoinformasi, UTM.
- Anuar Ahmad (Penterjemah) dan Zulkarnaini Mat Amin (1998) *Unsur-unsur fotogrametri*. Terjemahan Penerbit UTM, Skudai, Johor Bahru.
- Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., & Zhou, T. (2007). Classification of Unmanned Aerial Vehicles. *The University of Adelaide*.
- Azmi Hassan, (2007), Utusan Malaysia Newspaper.
http://www.utusan.com.my/utusan/archive.asp?y=2007&dt=0712&pub=Utusan_Malaysia&sec=Rencana&pg=re_02.htm
- Bange dan Martin, (2009), Meteorological profiling of the lower troposphere using the research UAV. *Researchgate.net*
- Bone *et al*, (2003), Unmanned Aerial Vehicle. www.fas.org
- Bendea, H., Chiabrandu, F., Giulio Tonolo, F., & Marenchino, D. (2007). Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV. The Augusta Bagiennorum test site. In *XXI International CIPA Symposium* (pp. 01- 06).

- Chandler, J. (1999). Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(1), 51-63.
- Chiabrando, Filiberto, Roberto Chiabrando, Dario Piatti, and Fulvio Rinaudo (2009) "Sensors for 3D imaging: metric evaluation and calibration of a CCD/CMOS time-of-flight camera." *Sensors* 9, no. 12 (2009): 10080-10096.
- Colomina, I., Blázquez, M., Molina, P., Parés, M.E. and Wis, M., (2008). Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing. IAPRS&SIS, Vol. 37(B1), Beijing, China, pp. 1201-1206.
- Cooper, M.A.R., and Robson, S., (1996) "Theory of Close Range Photogrammetry", Atkinson, K.B., *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, ISBN 1-870325-46-X, Whittles Publishing, Scotland.
- Cui, H. X., Lin, Z. J., & Sun, J. (2005). Research on UAV remote sensing system. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 5, 11-14.
- Dipolusumo, Bobby. (2004). Diktat Kuliah Fotogrametri. Bandung: Penerbit ITM.
- D'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D., & Ries, J. B. (2012). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11), 3390-3416.
- Eisenbeiss, H. (2004). A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5/W1).
- Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 1187-1192.

- Fazli Abdul Rahman, (2006). *Analisa terhadap rekabentuk bingkai kalibrasi bagi kamera digital untuk fotogrametri jarak dekat* (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Geoinformation Science and Engineering; Department of Geomatic Engineering).
- Feurer, D., Bailly, J. S., Puech, C., Le Coarer, Y., & Viau, A. A. (2008). Very-high-resolution mapping of river-immersed topography by remote sensing. *Progress in Physical Geography*, 32(4), 403-419.
- Flener, C., Vaaja, M., Jaakkola, A., Krooks, A., Kaartinen, H., Kukko, A. & Alho, P. (2013). Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing*, 5(12), 6382-6407.
- Fryer, J. G. (1989). Camera calibration in non-topographic photogrammetry. *Handbook of Non Topographic Photogrammetry*, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2, 51-69.
- Giordan, D., & Adams, M. (2020) *The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for engineering geology applications*. <https://doi.org/10.1007/s10064-020-01766-2>
- Gurtner, A., Greer, D. G., Glassock, R., Mejias, L., Walker, R. A. & Boles, W. W., (2009). Investigation of Fish-Eye Lenses for Small UAV Aerial Photography. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 47 (3), 709-721. IEEE.
- Hardi Efendi Yaacob, (2007). Berita Harian Online. www.bhplus.com.my
- Hinkler J., Pedersen S.B., Rasch M., Hansen B.U., (2002). Automatic snow cover monitoring at high temporal and spatial resolution, using images taken by a standard digital camera.
- J. Suziedelyte Visockiene, R. Puziene, A. Stanionis and E. Tumeliene (2016).

Unmanned Aerial Vehicles for Photogrammetry: Analysis of Orthophoto Images over the Territory of Lithuania. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/41410>

- Jacobsen, K, (2003). Handling of IKONOS-images from Orientation up to DEM Generation, Joint Workshop “High Resolution Mapping from Space 2003”.
- Kennie, T. J. M., & Petrie, G. (1990). Introduction to terrain modelling-application fields and terminology. *Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering*, 1-3.
- Laliberte, A.S., Herrick, J.E, Rango, A., & Winters, C., (2010). Acquisition, Orthorectification and Object based Classification of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery for Rangeland Monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol 76, No.6, June 2010. (pp.661-972).
- McLain, T. W., Chandler, P. R., Rasmussen, S., & Pachter, M. (2001). Cooperative control of UAV rendezvous. In *American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001* (Vol. 3, pp. 2309-2314). IEEE.
- Miller C.L & La Flamme R.A (1958). The Digital Terrain Model - Theory Application. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol 24, Page 442.
- Miknis, M., Davies, R., Plassmann, P., & Ware, A. (2016). Efficient Point Cloud Pre-processing using The Point Cloud Library. *International Journal of Image Processing*, (10), 63-72.
- Min, H. L. Z. Z. F., & Fan, L. X. C. (2013). Exploration and Practice of Low-level UAV Aerial Platform. *Journal of Geomatics*, 3, 025.
- Niethammer, U., Rothmund, S., & Joswig, M. (2009, February). UAV-based remote sensing of the slow-moving landslide Super-Sauze. In *Proceedings of the International Conference on Landslide Processes: from geomorphologic mapping to dynamic modelling*. Strasbourg, CERG Editions (pp. 69-74).
- Nex, F., & Remondino, F. (2013). UAV for 3D mapping applications: A

review. *Applied Geomatics*, 1-15.

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., & Sarazzi, D. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, 1.

Tang, L., & Shao, G. (2015). *Impact of flight altitude and cover orientation on Digital Surface Model (DSM) accuracy for flood damage assessment in Murcia (Spain) using a fixed-wing UAV*. <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00427-7>

Slama, C. C. and et la, (1980). *Manual of Photogrammetry*, 4th ed, American Society of Photogrammetry,

Tahar, K.N. (2013). A new approach on slope data acquisition using unmanned aerial vehicle. *Researchgate.net*.

Tahar, K. N., & Ahmad, A. (2012). A simulation study on the capabilities of rotor wing unmanned aerial vehicle in aerial terrain mapping. *Int J Phy Sci*, 7(8), 1300-1306.

Tahar, K. N., Ahmad, A., Akib, W. A. A. W. M., & Mohd, W. M. N. W. (2012). Aerial mapping using autonomous fixed-wing unmanned aerial vehicle. In *Signal Processing and its Applications (CSPA), 2012 IEEE 8th International Colloquium on* (pp. 164-168). IEEE.

Tahar, K. N., Ahmad, A., Akib, (2011). Unmanned Aerial Vehicle Technology For Large Scale Mapping, *International Symposium & Exhibition on Geoinformation (ISG)*.

Tang, L., & Shao, G. (2015). *Drone remote sensing for forestry research and practices*. *Journal of Forestry Research* . [Http://doi.org/10.1007/s11676-015-008-y](http://doi.org/10.1007/s11676-015-008-y).

Wolf, P. R & Dewitt, B. A. (2000). *Elements of Photogrammetry with Application in GIS (3rd Edition)*. McGraw-Hill, New York.

Xiaopeng Li et al. (2002). Accuracy of Airborne IFSAR Mapping. Intermap Technologies Corp. Nepean, Ontario, Canada.

Yusof *et al.*, (2006). Development of versatile UAV platfor for Agriculture.

Zhang, Z. (2004). Camera calibration with one-dimensional objects. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 26(7), 892-899.