

PEMETAAN SUNGAI BERSKALA BESAR MENGGUNAKAN
FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT DAN SISTEM PESAWAT UDARA
TANPA PEMANDU

MOHD HAFIS BIN MOHD ROOM

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

PEMETAAN SUNGAI BERSKALA BESAR MENGGUNAKAN
FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT
DAN SISTEM PESAWAT UDARA TANPA PEMANDU

MOHD HAFIS BIN MOHD ROOM

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

Fakulti Geoinformasi dan Harta Tanah
Universiti Teknologi Malaysia

JUN 2015

DEDIKASI

Segala puji bagi Allah S.W.T. Ribuan terima kasih diucapkan kepada papa dan mama yang telah memberi sokongan tidak berbelah bagi. Tidak lupa kepada rakan-rakan seperjuangan sekalian. Terima kasih diucapkan.

PENGHARGAAN

Dikeempatan ini saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada penyelia projek ini, Prof Madya Dr. Anuar bin Ahmad yang telah memberi tunjuk ajar, bimbingan dan nasihat yang berguna kepada saya dalam menyiapkan projek ini.

Tidak lupa juga buat teman-teman seperjuangan dan keluarga yang turut membantu memberi semangat dan bimbingan kepada saya untuk menyiapkan karya yang amat berharga ini.

ABSTRAK

Teknologi sistem pesawat tanpa pemandu (UAV) semakin berkembang pesat akhir-akhir ini. Secara tidak langsung, ia telah mengembangkan penggunaan sistem UAV kepada pelbagai jenis bidang khususnya bidang fotogrametri jarak dekat dan aplikasi pemetaan. Penggunaan sistem ini boleh dijadikan sebagai alternatif kepada aplikasi pemetaan skala besar kerana mempunyai banyak kelebihan dari segi kos, masa dan kekangan cuaca. Namun, ketepatan data UAV yang digunakan dalam aplikasi pemetaan masih menjadi persoalan disebabkan ianya kurang diterokai. Oleh itu, matlamat utama kajian ini adalah untuk menilai ketepatan kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV dalam pemetaan sungai berskala besar. Dalam kajian ini, foto udara model sungai dan Sungai Danga di Johor Bahru diperolehi dengan menggunakan kamera digital yang dipasang pada UAV. Foto udara model sungai diperolehi daripada ketinggian 3 meter dan foto udara Sungai Danga diperolehi daripada ketinggian 300 meter. Kedua-dua foto udara tersebut diproses dengan menggunakan perisian *Agisoft Photoscan Profesional* bagi menghasilkan produk fotogrametri seperti mozek ortofoto, model ketinggian digital (DEM) dan garisan kontur. Setiap hasil dinilai untuk penentuan ketepatan dengan menggunakan persamaan Ralat Min Punca Kuasa Dua (RMSE). Nilai RMSE X dan RMSE Y bagi kajian kes pemetaan model sungai masing-masing adalah $X = \pm 0.008$ meter dan $Y = \pm 0.035$ meter. Manakala, nilai RMSE planimetri adalah $XY = \pm 0.036$ meter. Nilai RMSE ketinggian bagi pemetaan model sungai pula adalah $Z = \pm 0.322$ meter. Untuk kajian kes pemetaan Sungai Danga, nilai RMSE X dan RMSE Y yang diperolehi masing-masing adalah $X = \pm 0.048$ meter dan $Y = \pm 0.065$ meter. RMSE planimetri adalah $XY = \pm 0.080$ meter dan nilai RMSE ketinggian adalah $Z = \pm 0.677$ meter. Berdasarkan kepada nilai RMSE yang diperolehi bagi kedua-dua kajian, didapati bahawa mozek ortofoto yang dihasilkan adalah tepat kerana RMSE planimetri adalah kurang daripada satu (1) meter. DEM dan garisan kontur bagi kedua-dua kajian kes juga adalah tepat kerana RMSE yang diperolehi adalah kecil iaitu kurang daripada satu (1) meter. Kesimpulannya, kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV boleh digunakan dalam aplikasi pemetaan sungai berskala besar.

ABSTRACT

Recently the technology of unmanned aerial vehicle (UAV) system has developed rapidly. Indirectly, it has increased the application of UAV for various applications especially in the field of close range photogrammetry and mapping application. This method can be used as an alternative to large scale mapping application because it has many advantages in term of cost, time and weather constraint. However, the accuracy of UAV data in the field of mapping is questionable due to it less ventured. Therefore the aim of this study is to evaluate the accuracy of close range photogrammetric method and UAV system in mapping river at large scale. In this study, the aerial photographs of river model and Danga River in Johor Bahru are acquired using digital camera attached to the UAV. The aerial photo for mapping of river model is acquired at the height of three (3) metre and the aerial photo of Danga River is acquired at the height of 300 metre. The acquired aerial photographs were processed using Agisoft Photoscan Profesional software to produce photogrammetric products such as orthomosaic, digital elevation model (DEM) and contour line. Every product is evaluated for accuracy assessment using Root Mean Squared Error (RMSE) equation. RMSE X and RMSE Y values for case study of mapping river model are $X = \pm 0.008$ metre and $Y = \pm 0.035$ metre respectively. Meanwhile, planimetric RMSE value is $XY = \pm 0.036$ metre. The RMSE value of height for mapping river model is $Z = \pm 0.322$ metre. For case study of mapping Danga River, the RMSE X and RMSE Y values obtained are $X = \pm 0.048$ metre dan $Y = \pm 0.065$ metre respectively. The planimetri value is $XY = \pm 0.080$ metre dan the height RMSE value is $Z = \pm 0.677$ meter. Based on the RMSE values obtained for both case study, the orthomosaic produced is accurate because the RMSE value is less than one (1) meter. DEM and contour line for both case studies are also accurate because the RMSE value is small which less than one (1) meter is. As conclusion, close range photogrammetric method and UAV system can be used for mapping large scale river.

KANDUNGAN

| BAB | PERKARA | HALAMAN |
|------------------|--------------------------------|----------------|
| | PENGESAHAN STATUS TESIS | |
| | PENGESAHAN PENYELIA | |
| | JUDUL | i |
| | PENGAKUAN | ii |
| | DEDIKASI | iii |
| | PENGHARGAAN | iv |
| | ABSTRAK | v |
| | ABSTRACT | vi |
| | KANDUNGAN | vii |
| | SENARAI JADUAL | xi |
| | SENARAI RAJAH | xii |
| | SENARAI LAMPIRAN | xiv |
| | SENARAI SINGKATAN | xv |
| BAB 1 | Pengenalan | |
| | 1.1 Latar Belakang Kajian | 1 |
| | 1.2 Penyataan Masalah | 3 |
| | 1.3 Tujuan Kajian | 4 |
| | 1.4 Objektif Kajian | 5 |
| | 1.5 Skop Kajian | 5 |

| | | |
|-----|--------------------|----|
| 1.6 | Kepentingan Kajian | 7 |
| 1.7 | Metodologi Kajian | 8 |
| 1.8 | Struktur Tesis | 10 |

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Pendahuluan | 12 |
| 2.2 | Sungai | 12 |
| 2.3 | Pemetaan Sungai | 15 |
| 2.4 | Pengenalan Fotogrametri | 17 |
| 2.5 | Cabang Fotogrametri | 19 |
| | 2.5.1 Fotogrametri Bumi | 19 |
| | 2.5.2 Fotogrametri Jarak Dekat | 20 |
| | 2.5.3 Fotogrametri Udara | 22 |
| 2.6 | Fotogrametri Digital | 25 |
| 2.7 | Kamera Fotogrametri | 27 |
| | 2.7.1 Kamera Digital | 29 |
| 2.8 | Produk Fotogrametri | 31 |
| | 2.8.1 Mozek Udara | 31 |
| | 2.8.1.1 Klasifikasi Mozek Udara | 32 |
| | 2.8.2 Model Ketinggian Digital (DEM) | 33 |
| | 2.8.3 Ortofoto | 34 |
| 2.9 | Pesawat Udara Tanpa Pemandu (UAV) | 34 |
| | 2.9.1 Sejarah UAV | 36 |
| 2.10 | UAV dalam Ketenteraan | 37 |
| 2.11 | Jenis UAV | 40 |
| | 2.11.1 Pengkelasan mengikut Berat | 40 |
| | 2.11.2 Pengkelasan mengikut Jenis Enjin | 42 |
| | 2.11.3 Pengkelasan mengikut Ketahanan dan Jarak | 43 |
| | 2.11.4 Pengkelasan mengikut Ketinggian | 44 |
| 2.12 | Kelebihan UAV | 45 |
| 2.13 | Kelemahan UAV | 47 |
| 2.14 | UAV dalam Bidang Pemetaan | 48 |
| 2.15 | Ketepatan Foto Udara UAV | 50 |

| | | |
|------|-----------------------|----|
| 2.16 | Aplikasi-Aplikasi UAV | 53 |
| 2.17 | Rumusan | 53 |

BAB 3 METODOLOGI KAJIAN

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Pendahuluan | 55 |
| 3.2 | Fasa Pertama | 56 |
| 3.3 | Fasa Kedua | 58 |
| 3.3.1 | Kawasan Kajian | 58 |
| 3.3.2 | Penyediaan Bahan dan Peralatan | 60 |
| 3.3.3 | Perolehan Data Kajian | 65 |
| 3.4 | Fasa Ketiga | 69 |
| 3.4.1 | Kalibrasi Kamera | 70 |
| 3.4.2 | Data GPS | 71 |
| 3.5 | Fasa Keempat | 71 |
| 3.5.1 | Pemprosesan Foto Udara Digital dengan Perisian PTGui | 73 |
| 3.5.2 | Pemprosesan Foto Udara Digital dengan Perisian Agisoft Photoscan | 73 |
| 3.5.3 | Pendigitan Mozek Ortofoto | 74 |
| 3.6 | Fasa Kelima | 75 |
| 3.7 | Rumusan | 76 |

BAB 4 HASIL DAN ANALISIS

| | | |
|------|---|----|
| 4.1 | Pendahuluan | 77 |
| 4.2 | Hasil Akhir Kajian | 77 |
| 4.3 | Mozek Ortofoto Digital Model Sungai | 78 |
| 4.4 | Model Ketinggian Digital (DEM) Model Sungai | 79 |
| 4.5 | Garisan Kontur | 80 |
| 4.6 | Analisis Ketepatan Kajian Kes Pertama | 81 |
| 4.7 | Mozek Ortofoto Digital Sungai Danga | 85 |
| 4.8 | Model Ketinggian Digital (DEM) Sungai Danga | 88 |
| 4.9 | Garisan Kontur Kawasan Sungai Danga | 90 |
| 4.10 | Peta Digital Kawasan Sungai Danga | 92 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| 4.11 | Analisis Ketepatan bagi Kajian Kes Kedua | 94 |
| 4.11.1 | Perbandingan Koordinat antara Koordinat UAV dan Koordinat GPS | 94 |
| 4.11.2 | Perbandingan Pendigitan Mozek Ortofoto Digital dan Pendigitan RTK | 97 |
| 4.12 | Rumusan | 99 |
| BAB 5 | KESIMPULAN DAN CADANGAN | |
| 5.1 | Pendahuluan | 100 |
| 5.2 | Kesimpulan | 100 |
| 5.3 | Cadangan | 102 |
| | RUJUKAN | 103 |
| | LAMPIRAN | 113 |

SENARAI JADUAL

| NO. JADUAL | TAJUK | HALAMAN |
|------------|--|---------|
| 2.1 | Perbezaan antara kamera metrik dan kamera bukan metrik/semi metrik | 28 |
| 2.2 | Pengkelasan UAV mengikut berat | 42 |
| 2.3 | Ringkasan bagi ketiga-tiga kelas tersebut | 44 |
| 2.4 | Kelas UAV mengikut ketinggian maksimum | 44 |
| 3.1 | Senarai peralatan dan bahan yang digunakan | 60 |
| 3.2 | Spesifikasi UAV Hexakopter | 62 |
| 3.3 | Spesifikasi UAV Helang | 62 |
| 3.4 | Spesifikasi kamera digital yang digunakan dalam kajian ini | 64 |
| 3.5 | Perisian-perisian yang digunapakai dalam kajian ini | 72 |
| 4.1 | Perbandingan pengukuran pada mozek ortofoto dan pengukuran di lapangan | 81 |
| 4.2 | Perbezaan koordinat planimetri antara koordinat UAV dan koordinat <i>Total Station</i> | 82 |
| 4.3 | Perbezaan koordinat ketinggian antara koordinat UAV dan koordinat Topcon Total Station | 82 |
| 4.4 | Nilai RMSE bagi Pembetulan Transformasi Geometri | 86 |
| 4.5 | Perbezaan koordinat ketinggian antara koordinat UAV dan koordinat GPS | 94 |
| 4.6 | Perbezaan koordinat planimetri antara koordinat UAV dan koordinat GPS | 95 |

SENARAI RAJAH

| NO. RAJAH. | TAJUK | HALAMAN |
|------------|--|---------|
| 1.1 | Carta alir metodologi kajian | 9 |
| 2.1 | Zon profil tiga longitudinal bagi sistem sungai | 13 |
| 2.2 | Keratan rentas saluran sungai | 13 |
| 2.3 | Corak saluran bagi lurus, jalinan dan berliku-liku bagi ekologi sungai | 14 |
| 2.4 | Konsep asas fotogrametri jarak dekat | 20 |
| 2.5 | Konsep foto udara tegak | 22 |
| 2.6 | Konsep foto udara senget | 23 |
| 2.7 | Konsep foto udara oblik | 24 |
| 2.8 | Perkembangan teknologi fotogrametri | 25 |
| 2.9 | Mozek terkawal bagi kawasan UTM 2012 | 32 |
| 2.10 | DEM di kawasan hakisan tanah di Alps, Selatan Perancis | 33 |
| 2.11 | <i>The Montgolfier brothers' balloon</i> | 37 |
| 2.12 (a) | <i>Kettering Bug</i> | 38 |
| 2.12 (b) | <i>Fiesler FI 103 V1</i> | 38 |
| 2.13 | Global Hawk | 38 |
| 2.14 | Kelas berat melebihi 200 kg | 41 |
| 2.15 | Kategori Berat antara 200 kg sehingga 2000 kg | 41 |
| 2.16 (a) | UAV <i>Raven</i> (sederhana berat) | 42 |
| 2.16 (b) | UAV <i>AS-12</i> (ringan) | 42 |
| 2.16 (c) | UAV <i>Dragon Eyes</i> (mikro) | 42 |
| 3.1 | Carta alir bagi metodologi kajian setiap fasa | 57 |
| 3.2 | Model Sungai bagi kajian kes pertama | 59 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.3 | Kawasan Sungai Danga, Johor Bharu | 59 |
| 3.4 | Contoh beberapa foto udara model sungai | 65 |
| 3.5 | Contoh foto udara di kawasan Sungai Danga | 66 |
| 3.6 | Titik kawalan bumi bagi model Sungai | 67 |
| 3.7 | Lokasi titik kawalan di Kawasan Sungai Danga | 68 |
| 3.8 | Plat kalibrasi yang digunakan bagi proses kalibrasi kamera | 70 |
| 4.1 | Mozek Ortofoto Digital Model Sungai | 78 |
| 4.2 | Model Ketinggian Digital Model Sungai | 79 |
| 4.3 | Garis kontur bagi model sungai | 80 |
| 4.4 | Pengukuran panjang dan lebar pada model sungai | 84 |
| 4.5 | Mozek Ortofoto Digital Sungai Danga | 87 |
| 4.6 | Model Ketinggian digital (DEM) Sungai Danga | 89 |
| 4.7 | Garis kontur bagi Sungai Danga | 91 |
| 4.8 | Peta Digital Kawasan Sungai Danga | 93 |
| 4.9 | Lokasi cerapan kaedah RTK di Sungai Danga | 98 |
| 4.10 | Perbandingan Garisan Sungai dengan Garisan Sungai RTK | 98 |

SENARAI LAMPIRAN

| LAMPIRAN | TAJUK | HALAMAN |
|-----------------|--|----------------|
| A | Lokasi Titik Kawalan di Kawasan Sungai Danga | 113 |
| B | Atur cara pemprosesan data UAV menggunakan perisian <i>Agisoft Photoscan Profesional Version 9.1</i> | 118 |

SENARAI SINGKATAN

| Singkatan | Nama |
|------------------|--------------------------------------|
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| JPS | Jabatan Pengaliran dan Saliran |
| LIDAR | <i>Light Detection And Ranging</i> |
| RMSE | <i>Root Mean Square Error</i> |
| RTK | <i>Real Time Kinematic</i> |
| UAV | <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i> |

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Fotogrametri jarak dekat adalah sebahagian daripada cabang dalam bidang fotogrametri bumi (Samad *et al.*, 2010) dan mempunyai takrifan yang sama dengan fotogrametri bumi sebagai mana yang dinyatakan oleh (Matthews dan Noble, 2008). Menurut beliau, penggunaan pelantar seperti pesawat udara tanpa pemandu (UAV) bagi mendapatkan foto udara sesuatu kawasan pada ketinggian kurang daripada 300 meter diklasifikasikan sebagai fotogrametri jarak dekat. Fotogrametri bumi didefinisikan sebagai pengumpulan foto udara yang diambil kurang daripada jarak 300 meter dari kamera ke objek (Wolf and Dewitt, 2000). Konsep fotogrametri jarak dekat adalah sama seperti fotogrametri udara iaitu menggunakan kamera untuk mendapatkan data. Data yang dimaksudkan adalah foto udara yang diproses dengan menggunakan perisian fotogrametri bagi mendapatkan produk-produk fotogrametri seperti mozek ortofoto, model ketinggian digital (DEM), peta digital, garisan kontur dan lain-lain.

Pada masa kini, keperluan penggunaan teknik fotogrametri bagi aplikasi pemetaan telah meningkat disebabkan oleh pengenalan sistem pesawat udara tanpa pemandu (UAV) kepada penggunaan awam yang sebelum ini banyak digunakan dalam misi ketenteraan (Tahar and Ahmad, 2012). Kepesatan pembangunan reka bentuk, penyelidikan dan penghasilan berbagai-bagai jenis UAV telah memberi kelebihan kepada bidang fotogrametri (Breckenridge and Dakins, 2011; Chao *et al.*, 2010). Gabungan bidang fotogrametri dan sistem UAV ini menyebabkan gabungan

kedua-dua kaedah ini mempunyai kelebihan berbanding dengan kaedah konvensional iaitu pesawat berpemandu. Penggunaan UAV bagi mendapatkan foto udara pada altitud rendah dan menggunakan kamera digital berformat kecil bagi kawasan berkeluasan sederhana adalah sangat praktikal dan sesuai kerana objek-objek yang tidak dapat dilihat dengan jelas pada foto udara konvensional atau imej satelit, ianya dapat dilihat dengan jelas pada foto udara UAV. Selain daripada itu, kebanyakan UAV diterbangkan pada ketinggian rendah iaitu di bawah litupan awan. Oleh itu, isu atau masalah litupan awan pada foto udara UAV tidak wujud. Masalah litupan awan ini berlaku pada foto udara konvensional dan imej satelit. Litupan awan ini menyebabkan objek-objek tertentu tidak dapat dilihat pada foto yang diambil. Faktor lain yang mendorong kepada perkembangan UAV dalam bidang pemetaan ini adalah kos yang menjimatkan dan lebih ekonomi (Tahar dan Ahmad, 2012). Di samping itu, ketepatan produk pemetaan yang diperolehi daripada menggunakan sistem UAV juga adalah baik iaitu mampu mencapai ketepatan planimetri dan ketinggian sehingga sentimeter (d'Oleire-Oltmanns *et al.*, 2012; Zongjian, 2008). Pembangunan dan penghasilan perisian-perisian khusus bagi memproses foto atau data UAV yang lebih efektif, pantas dan ekonomi merupakan salah satu faktor menyumbang kepada penggunaan sistem UAV dalam bidang pemetaan. Antara contoh-contoh perisian UAV yang berada di pasaran pada masa kini seperti *Agisoft Photoscan Profesional*, *Pix4D*, *EnsoMosaic*, *MAVinci*, *Menci* dan banyak lagi. Perisian-perisian ini dapat menghasilkan produk-produk fotogrametri dengan pantas walaupun melibatkan pemrosesan data yang banyak berbanding perisian fotogrametri konvensional seperti *ERDAS Imagine*, *DVP*, *PCI*, *Photomod* dan sebagainya.

Salah satu aplikasi yang boleh dikaji dengan menggunakan sistem UAV ini adalah pemetaan sungai. Ini kerana pemetaan sungai menggunakan kaedah fotogrametri dan sistem UAV adalah suatu pendekatan yang baru khususnya di Malaysia (Udin and Ahmad, 2012). Pemetaan sungai melibatkan kajian mengenai geomorfologi sungai, daratan banjir, hakisan tanah dan mendapan. Menurut Bird *et al.* (2010), integrasi sistem UAV dan fotogrametri digital adalah sesuai bagi pemodelan dan pemantauan dasar sungai dengan resolusi ruang antara 0.01 m hingga 1 m serta boleh menghasilkan DEM dengan ketepatan sehingga sentimeter. Di samping itu, foto udara UAV boleh menghasilkan data beresolusi tinggi berbanding foto udara konvensional dan imej satelit. Kriteria ini adalah sangat penting dalam

pemetaan sungai kerana bentuk geomorfologi sungai dapat dilihat dengan jelas dalam foto (Butler *et al.*, 1998).

Oleh itu, kajian ini memberi penekanan terhadap pemetaan sungai berskala besar bagi sungai berliku dengan menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV. Kajian pemetaan sungai ini dibahagikan kepada dua kajian kes. Kajian kes pertama melibatkan pemetaan model sungai berliku manakala kajian kes kedua melibatkan pemetaan sungai sebenar iaitu Sungai Danga dalam Daerah Johor Bahru, Johor.

1.2 Penyataan Masalah

Terdapat pelbagai kaedah yang boleh digunapakai dalam melaksanakan aplikasi pemetaan sungai. Antara kaedah tersebut seperti remote sensing, teknologi *Light Detection and Ranging* (LIDAR), ukur hidrografi dan sebagainya. Feurer *et al.* (2008) telah menggunakan kaedah remote sensing dan data LIDAR dalam pemetaan kawasan sungai di Amerika Syarikat. Walaubagaimanapun, penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat untuk aplikasi pemetaan sungai tidak begitu meluas terutama di Malaysia. Namun begitu, di negara-negara luar, penggunaan kaedah ini dalam aplikasi pemetaan kawasan sungai telah diterokai lebih awal sebagaimana yang dilakukan oleh Chandler (1999) yang mempraktikkan kaedah fotogrametri jarak dekat dalam pemetaan sungai dan model sungai. Dalam kajian tersebut, penyelidik berkenaan telah menggunakan kamera digital bagi menjana model rupabumi digital (DEM) bagi model sungai dan sungai sebenar bagi menunjukkan permukaan pasir kering dan batu kerikil bagi lantai sungai. Hasil daripada kajian tersebut, didapati bahawa penggunaan kamera digital dan kaedah fotogrametri jarak dekat berjaya memberikan ketepatan yang baik.

Oleh itu, kajian ini memberi tumpuan terhadap penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat dalam pemetaan kawasan sungai di Malaysia. Di samping itu juga, kajian ini akan menerokai penggunaan kamera digital dan penggunaan UAV sebagai pelantar bagi tujuan ini. Penggunaan kedua-dua aspek ini untuk pemetaan

sungai masih lagi kurang dilakukan di Malaysia. Berdasarkan kepada kajian literatur yang telah dilaksanakan, antara persoalan utama dalam penggunaan kamera bukan metrik dalam aplikasi pemetaan adalah ketepatan planimetri dan ketinggian yang diperolehi. Ini kerana tujuan asal pengeluaran kamera bukan metrik adalah bukan untuk tujuan fotogrametri atau pemetaan. Disamping itu, penggunaan UAV sebagai pelantar dalam pengambilan foto udara bagi kawasan kajian juga menjadi suatu persoalan utama. Antara persoalannya adalah ketepatan foto udara yang diambil kerana terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi data UAV semasa penggambaran dilakukan, ketinggian penerbangan UAV, resolusi kamera digital dan sebagainya. Ini secara tidak langsung akan menyebabkan foto udara tersebut mengalami masalah dan sekaligus mempengaruhi ketepatan planimetri dan ketinggian hasil akhir kajian.

Selain daripada itu, perisian yang digunakan bagi menghasilkan produk-produk fotogrametri juga perlu dibincangkan. Kebanyakan perisian fotogrametri konvensional dibangunkan untuk memproses foto udara konvensional dan khusus untuk pemetaan. Perisian fotogrametri konvensional selalunya melibatkan pemrosesan data yang banyak dan mengambil masa yang lama untuk menghasilkan produk akhir. Pada masa kini, terdapat perisian yang dibangunkan bagi memproses data UAV. Kebiasaannya, pemrosesan data UAV melibatkan bilangan data yang banyak tetapi dapat menghasilkan produk akhir dengan pantas. Namun begitu, perisian ini adakah sesuai digunakan dalam bidang pemetaan yang memerlukan ketepatan planimetri dan ketinggian yang tinggi kerana penggunaan sistem UAV untuk aplikasi pemetaan adalah masih baru. Oleh itu, kajian berkaitan pemetaan sungai berskala besar menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV merungkai masalah yang dibincangkan.

1.3 Tujuan Kajian

Tujuan kajian ini adalah untuk menilai keupayaan kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV dalam pemetaan sungai.

1.4 Objektif Kajian

Terdapat tiga objektif kajian yang telah ditentukan. Objektif-objektif kajian ini adalah seperti berikut : -

- i. Untuk menyiasat keupayaan UAV bagi pemetaan sungai pada skala besar.
- ii. Untuk menghasilkan mozek ortofoto, DEM dan kontur bagi pemetaan model sungai dan pemetaan sungai sebenar.
- iii. Untuk mengenalpasti ketepatan planimetri dan ketinggian daripada hasil pemetaan model sungai dan sungai sebenar dengan menggunakan kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV.

1.5 Skop Kajian

Skop perlu ditentukan bagi sesebuah kajian bagi memastikan matlamat kajian dapat dipenuhi. Skop kajian yang telah ditentukan merangkumi beberapa aspek seperti kajian kes, kawasan kajian, peralatan, perisian dan data.

Dalam kajian ini, terdapat dua kajian kes yang dilaksanakan. Kajian kes yang pertama melibatkan pemetaan model sungai berliku-liku. Model sungai ini berukuran 5 meter panjang, 1.20 meter lebar dan 0.15 meter kedalaman alur sungai. Model sungai ini diperbuat daripada bahan polistren berwarna putih dan di tempah khas daripada Jabatan Hidrologi di Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Model ini ditempatkan di kawasan lapang bersebelahan dengan Blok T06, Fakulti Geoinformasi dan Harta Tanah (FGHT), Universiti Teknologi Malaysia (UTM). Foto udara model sungai tersebut diambil dengan menggunakan kamera digital *Canon Powershot XS230 HS* 12 Megapiksel yang telah dipasang pada UAV mikro jenis putar iaitu UAV Hexakopter. Kajian kes kedua pula, melibatkan pemetaan sungai sebenar yang panjang iaitu Sungai Danga yang terletak di daerah Johor Bahru. Sungai Danga dipilih sebagai kawasan kajian bagi kajian kes

kedua ini kerana bentuk geomorfologi sungai tersebut adalah berliku-liku. Salah satu objektif kajian ini adalah untuk mengkaji keupayaan kaedah fotogrametri dalam pemetaan sungai yang berbentuk berliku-liku. Panjang Sungai Danga yang terlibat dalam kajian kes kedua ini adalah lebih kurang dua (2) kilometer. Jenis UAV yang digunakan untuk mengambil foto udara Sungai Danga adalah UAV jenis sayap yang dikenali sebagai UAV Helang. Kamera digital *Canon Powershot XS230 HS* 12 Megapiksel digunakan bagi mengambil foto udara Sungai Danga.

Dalam kajian ini juga, beberapa peralatan seperti alat kawalan jauh, mini komputer, peralatan ukur dan peralatan *Global Positioning System* (GPS) turut digunakan. Alat kawalan jauh model Futaba 12 Frekuensi digunakan semasa proses penggambaran foto udara bagi kedua-dua kajian kes. Alat kawalan jauh ini berfungsi dalam mengendalikan UAV semasa sesi perlepasan dan pendaratan. Manakala, mini komputer ASUS pula digunakan bagi memantau keadaan dan kedudukan UAV di udara dalam mod automatik. Titik kawalan bagi kajian kes pertama ditubuhkan dengan menggunakan *Topcon Total Station*. Titik kawalan bagi kajian kes kedua pula ditubuhkan dengan menggunakan peralatan GPS iaitu *Topcon Hyper Profesional* dan *Topcon Hyper Ga*. *Topcon Hyper Profesional* digunakan sebagai stesen rujukan manakala *Topcon Hyper Ga* digunakan stesen bergerak. Perbincangan lanjut mengenai setiap peralatan yang digunakan dalam kajian ini ditunjukkan pada Jadual 3.1 dalam Seksyen 3.3.2.

Beberapa perisian digunakan dalam kajian ini. Antara perisian tersebut seperti *Agisoft Photoscan Profesional*, *ArcGIS 10*, *Civil Design and Survey (CDS)*, *Trimble Geomatica Office (TGO) 1.5*, dan *Australis Photometric*. *Agisoft Photoscan Profesional* ialah perisian memproses foto udara UAV. Perisian ini digunakan untuk memproses foto udara bagi kedua-dua kajian kes. *ArcGIS 10* digunakan bagi menghasilkan peta digital. *Civil Design and Survey (CDS)* pula digunakan bagi pemprosesan titik kawalan bagi kajian kes model sungai yang ditubuhkan dengan menggunakan *Topcon Total Station*. *Trimble Geomatica Office (TGO) 1.5* pula digunakan bagi pemprosesan titik kawalan bagi kajian kes sungai sebenar. Perisian terakhir iaitu *Australis Photometric* digunakan bagi menjalankan proses kalibrasi terhadap kamera digital *Canon Powershot XS230 HS* yang digunakan bagi

mendapatkan foto udara UAV. Maklumat lanjut mengenai perisian-perisian ini juga diterangkan dalam Jadual 3.5 dalam Seksyen 3.5.

Data yang digunakan bagi kedua-dua kajian kes adalah foto udara UAV bagi model sungai dan Sungai Danga. Foto udara UAV diambil dengan menggunakan kamera digital yang dipasang pada UAV Hexakopter dan UAV Helang pada ketinggian penerbangan yang telah ditetapkan. Foto udara ini adalah dalam format digital dan disimpan dalam format imej Tiff serta mempunyai dimensi imej 3000 x 4000 piksel. Kemudian, imej-imej tersebut perlu melalui proses pemprosesan data bagi menghasilkan produk-produk fotogrametri seperti mozek ortofoto, model rupabumi digital (DEM), garisan kontur dan peta digital. Selain daripada foto udara, data lain yang digunakan dalam kajian ini adalah data titik kawalan bumi dan titik semakan. Kedua-dua data tersebut ditubuhkan di lapangan dengan menggunakan kaedah GPS. 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.

1.6 Kepentingan Kajian

Secara amnya, kajian ini adalah berkaitan dengan aplikasi pemetaan sungai. Pemetaan sungai adalah sangat penting kerana daripada aplikasi ini, kajian-kajian seperti geomorfologi sungai, hakisan tanah, mendapan dan banjir dapat dikaji. Kajian-kajian tersebut perlu dilakukan bagi memastikan sifat semulajadi sungai berada dalam keadaan yang stabil dan baik bagi mengelak terjadi bencana alam sekali gus menggugat keselamatan manusia dan haiwan. Selain itu, kurang kesedaran terhadap kajian mengenai sungai boleh mengakibatkan ekonomi negara terjejas kerana boleh merosakkan harta benda awam..

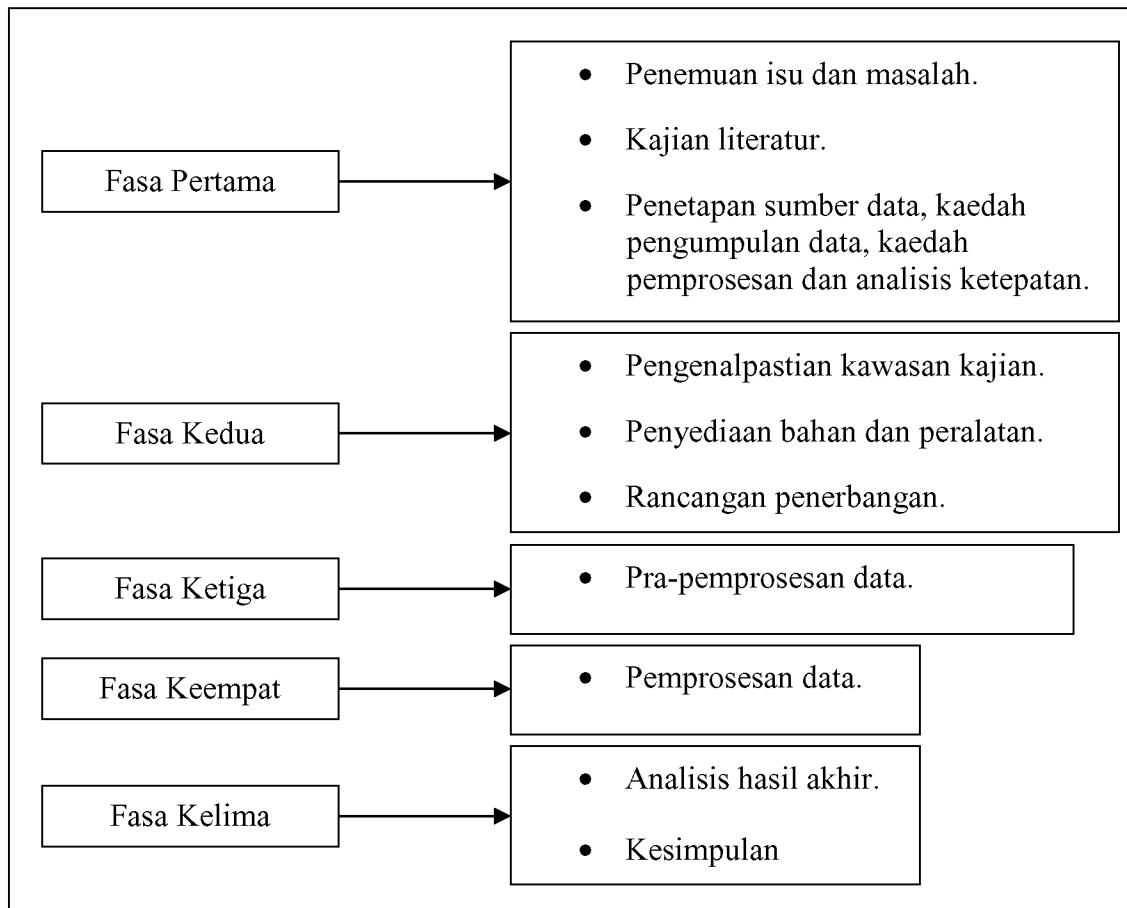
Penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat dan sistem UAV untuk pemetaan sungai berskala besar dengan menggunakan kamera digital khususnya di Malaysia adalah masih lagi baru. Sebelum ini, pemetaan sungai banyak menggunakan kaedah fotogrametri konvensional dan imej satelit. Oleh itu, kajian ini

dapat dijadikan sebagai rujukan kepada pihak-pihak yang berminat dan bertanggungjawab dalam aplikasi pemetaan sungai berskala besar dengan menggunakan kamera digital. Di Malaysia, Institut Penyelidikan Hidraulik Kebangsaan Malaysia (NAHRIM) iaitu pihak bertanggungjawab dalam pengurusan, penyelidikan dan konsultasi berkenaan dengan sungai-sungai di Malaysia dapat menjadikan kajian ini sebagai garisan panduan dalam kajian sungai yang dilaksanakan. Jabatan Pengaliran dan Saliran (JPS) Malaysia pula adalah pihak yang bertanggungjawab untuk menjaga kebersihan sungai. Di samping itu, mereka juga bertanggungjawab untuk melakukan pemetaan sungai-sungai di Malaysia. Oleh itu, pihak JPS Malaysia boleh memanfaatkan teknologi ini untuk pemetaan sungai dan mengemaskini peta sungai dengan kaedah yang efektif dan pantas. .

Sumbangan lain yang boleh diperolehi daripada kajian ini adalah dapat memperkembangan penggunaan sistem UAV dan kamera bukan metrik dalam tujuan pemetaan kerana teknologi sistem UAV adalah suatu teknologi baru di Malaysia dan kegunaannya bagi tujuan saintifik masih lagi kurang diterokai. Di samping itu, penggunaan kamera bukan metrik dalam pemetaan berskala besar juga dapat diperkembangkan. Sebelum ini aplikasi pemetaan banyak menggunakan peralatan-peralatan pemetaan yang mahal seperti kamera metrik dan menggunakan pesawat berpemandu bagi mendapatkan data kajian.

1.7 Metodologi Kajian

Metodologi merupakan antara bahagian terpenting dalam kajian ini dan diterangkan secara terperinci di dalam Bab 3. Metodologi kajian ini dibahagikan kepada lima fasa penting iaitu kajian literatur, pengumpulan data, pra-pemprosesan, pemprosesan data dan yang terakhir proses menganalisis ketepatan hasil kajian. Rajah 1.1 memaparkan secara ringkas metodologi kajian ini.



Rajah 1.1 : Carta alir metodologi kajian

Berdasar kepada Rajah 1.1, kajian ini melibatkan beberapa fasa. Kajian ini dimulakan dengan kajian literatur untuk mengkaji dan menganalisis penggunaan fotogrametri dalam pemetaan sungai. Selain itu, kajian literatur juga melibatkan penyelidikan terhadap sistem UAV dan penggunaan dalam pelbagai aplikasi khususnya dalam aplikasi pemetaan. Dalam kajian literatur, penyelidikan terhadap isu dan masalah dalam pemetaan sungai turut dikaji. Pemilihan dan penetapan mengenai data, kaedah, pemprosesan dan analisis ketepatan adalah berdasarkan kepada penyelidikan daripada kajian literatur.

Sebelum pengumpulan data lapangan dilaksanakan, penetapan kawasan kajian dan penyediaan peralatan yang diperlukan dalam kajian ini perlu dilaksanakan bagi melancarkan proses pengumpulan data lapangan. Rancangan penerbangan juga perlu dirancang dengan menetapkan beberapa parameter penerbangan antaranya

adalah ketinggian penerbangan. Penubuhan titik kawalan di kawasan kajian dengan menggunakan *Total Station* dan *Global Positioning System* (GPS).

Selepas pengumpulan data selesai, kamera digital yang digunakan semasa pengumpulan data UAV perlu melalui proses kalibrasi kamera dengan menggunakan perisian kalibrasi kamera. Tujuan kalibrasi kamera dilakukan bagi mendapatkan parameter yang stabil kerana kamera digital yang digunakan adalah jenis kamera bukan metrik. Data titik kawalan yang ditubuh perlu diproses dengan menggunakan perisian tertentu bagi mendapatkan koordinat planimetri dan ketinggian.

Data yang diperolehi iaitu foto udara UAV perlu diproses dengan menggunakan perisian fotogrametri bagi menghasilkan produk-produk fotogrametri. Kemudian, produk-produk tersebut perlu dianalisis ketepatan bagi mengkaji kualiti dan ketepatan hasil akhir yang diperolehi itu.

1.8 Struktur Tesis

Tesis ini dibahagikan kepada lima bab. Bab pertama membincangkan secara kasar tentang konsep kajian ini dilaksanakan. Bab ini terdiri daripada beberapa topik seperti latar belakang kajian, pernyataan masalah, tujuan dan objektif kajian, skop kajian dan kepentingan kajian.

Bab kedua pula membincangkan secara terperinci tentang kajian literatur yang mempunyai hubungkait dengan konsep kajian ini. Antara topik-topik yang dibincangkan dalam bab ini adalah pengenalan kepada fotogrametri, pengenalan kepada sistem pesawat tanpa pemandu (UAV) dan teknik-teknik pemetaan sungai. Setiap topik yang dibincangkan adalah bersumberkan kepada pembacaan bahan-bahan ilmiah seperti buku, jurnal, kertas kerja persidangan, laman sesawang dan sebagainya yang dilaporkan oleh penyelidik-penyelidik di seluruh dunia.

Manakala bab ketiga adalah bab yang paling penting kerana membincangkan tentang metodologi yang digunapakai dalam kajian ini. Metodologi kajian ini terdiri

daripada beberapa fasa iaitu fasa persediaan awal, fasa rekabentuk kajian, fasa pemprosesan dan fasa analisis. Setiap fasa ini diterangkan dengan terperinci supaya konsep kajian ini dapat difahami dengan jelas dan menyeluruh.

Bab keempat menunjukkan kesemua hasil pemprosesan yang diperolehi daripada kajian yang telah dijalankan. Setiap hasil tersebut dibincangkan berdasarkan kepada konsep dan skop kajian yang telah ditetapkan. Akhir sekali, bab kelima adalah kesimpulan yang dibuat terhadap kajian ini. Disamping isu permasalahan dan cadangan yang diutarakan bagi menambahbaikkan kajian pada masa hadapan turut dibincangkan dalam bab yang terakhir ini.

RUJUKAN

- Abdul Rahman, A. (1994). Digital terrain model data structures. *Buletin Ukur*, 5(1), 61-72.
- Abdul Rahman, F. (2006). *Analisa terhadap rekabentuk bingkai kalibrasi bagi kamera digital untuk fotogrametri jarak dekat.* , Faculty of Geoinformation Science and Engineering; Department of Geomatic Engineering. Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Ijazah Sarjana Sains (Kejuruteraan Geomatik).
- Achar, S., Sankaran, B., Nuske, S., Scherer, S. dan Singh, S. (2011). *Self-supervised segmentation of river scenes*. Paper presented at the Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on, 6227-6232.
- AeroVironment, (2014). Dragon Eye. Diakses pada 21 September 2014.
- Agisoft, L. (2012). Agisoft PhotoScan user manual. Professional edition, version 0.9. 0. *AgiSoft LLC*.
- Airforce-technology, (2014). RQ-11B Raven Unmanned Air Vehicle (UAV), United States of America. Diakses pada 21 September 2014.
- Ahmad, A. (2006). Digital photogrammetry: An experience of processing aerial photograph of UTM acquired using digital camera.
- Ahmad, A. (2011). Digital mapping using low altitude UAV. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 19.
- Ahmad, A., Tahar, K. N., Udin, W. S., Hashim, K. A., Darwin, N. dan Hafis, M. (2013). *Digital aerial imagery of unmanned aerial vehicle for various applications*. Paper presented at the Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 2013 IEEE International Conference on, 535-540.
- Allan, J. dan Castillo, M. (2007). Stream ecology: structure and function of running waters. *Stream ecology: structure and function of running waters* (Ed. 2).

- Anuar Ahmad dan Zulkarnaini Mat Amin (1998). *Unsur-unsur fotogrametri dengan pentafsiran foto udara and penderiaan jauh*. Terjemajan. Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M. dan Zhou, T. (2006). Classification of Unmanned Aerial Vehicles. *The University of Adelaide. Australia.[En linea] Disponible en: <http://personal.mecheng.adelaide.edu.au/maziar.arjomandi/Aeronautical>, 20.*
- Atkinson, K. B. (2001). Close range photogrammetry and machine vision. *Survey Review*, 34(266), 276-276.
- Bange, J. dan Martin, S. (2009). *Measuring Vertical Profiles of Wind, Temperature and Humidity within the Atmospheric Boundary Layer using the Research UAVs' M2AV Carolo'*. Paper presented at the 9th EMS Annual Meeting, 9th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM) Abstracts, held Sept. 28-Oct. 2, 2009 in Toulouse, France. <http://meetings.copernicus.org/ems2009/>, id. EMS2009-64., 64.
- Barazzetti, L., Remondino, F., Scaioni, M. dan Brumana, R. (2010). *Fully automatic UAV image-based sensor orientation*. Paper presented at the Proceedings of the 2010 Canadian Geomatics Conference and Symposium of Commission I.
- Behan, A. (2010). Digital Photogrammetry: A Practical Course. *The Photogrammetric Record*, 25(132), 476-477.
- Bendea, H., Chiabrando, F., Giulio Tonolo, F. dan Marenchino, D. (2007). *Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV The Augusta Bagiennorum test site*. Paper presented at the XXI International CIPA Symposium, 01-06.
- Bird, S., Hogan, D. dan Schwab, J. (2010). Photogrammetric monitoring of small streams under a riparian forest canopy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(8), 952-970.
- Bone, E. dan Bolkcom, C. (2003). *Unmanned aerial vehicles: Background and issues for congress*. DTIC Document.
- Breckenridge, R. P. dan Dakins, M. E. (2011). Evaluation of Bare Ground on Rangelands Using Unmanned Aerial Vehicles: A Case Study. *GIScience & Remote Sensing*, 48(1), 74-85.
- Bridge, J. S. (2009). *Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary record*. John Wiley & Sons.

- Butler, J., Lane, S. dan Chandler, J. (1998). Assessment of DEM quality for characterizing surface roughness using close range digital photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 16(92), 271-291.
- Chandler, J. (1999). Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24(1), 51-63.
- Chandler, J. H., Shiono, K., Rameshwaren, P. dan Lane, S. N. (2001). Measuring flume surfaces for hydraulics research using a Kodak DCS460. *The Photogrammetric Record*, 17(97), 39-61.
- Chao, H., Cao, Y. dan Chen, Y. (2010). Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 8(1), 36-44.
- Chiabrando, F., Chiabrando, R., Piatti, D. dan Rinaudo, F. (2009). Sensors for 3D imaging: metric evaluation and calibration of a CCD/CMOS time-of-flight camera. *Sensors*, 9(12), 10080-10096.
- Chiabrando, F., Nex, F., Piatti, D. dan Rinaudo, F. (2011). UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaeological areas: two tests in the Piedmont region (Italy). *Journal of archaeological science*, 38(3), 697-710.
- Collinson, R. P. (2011). *Introduction to avionics systems*. Springer.
- Cook, K. L. (2007). *The silent force multiplier: the history and role of UAVs in warfare*. Paper presented at the Aerospace Conference, 2007 IEEE, 1-7.
- Cooper, M. dan Robson, S. (1996). Theory of close range photogrammetry. *McGraw-Hill, New York*.
- Curley, R. (2011). *The Complete History of Aviation: From Ballooning to Supersonic Flight*. Britannica Educational Publishing.
- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D. dan Ries, J. B. (2012). Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11), 3390-3416.
- Darwin, N., Ahmad, A. dan Zainon, O. (2014). *The Potential of Unmanned Aerial Vehicle for Large Scale Mapping of Coastal Area*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 012031.
- Dewan Bahasa dan Pustaka (DBP), (2012). Diakses pada 10 Mei 2012. <http://prpm.dbp.gov.my/Search.aspx?k=ufuk>

- Egels, Y. dan Kasser, M. (2003). *Digital photogrammetry*. CRC Press.
- 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).
- Eisenbeiß, H. dan Zürich, E. T. H. (2009). *UAV photogrammetry*. ETH.
- 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.
- Fahlstrom, P. dan Gleason, T. (2012). *Introduction to UAV systems*. John Wiley & Sons.
- Feurer, D., Bailly, J.-S., Puech, C., Le Coarer, Y. dan 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. dan Kukko, A. (2013). Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing*, 5(12), 6382-6407.
- Fryirs, K. A. dan Brierley, G. J. (2012). *Geomorphic analysis of river systems: an approach to reading the landscape*. John Wiley & Sons.
- George, M., Larsen, R., McDougald, N., Gerlach, J. dan Fulgham, K. (2004). Cattle grazing has varying impacts on stream-channel erosion in oak woodlands. *California agriculture*, 58(3), 138-143.
- Gizmag, (2014).. 3D-printed UAV now sports ducted fan motors. Diakses pada 20 Julai 2014
- Goodnight, R. D. (2009). *An Innovative Approach for Data Collection and Handling to Enable Advancements in Micro Air Vehicle Persistent Surveillance*. Texas A&M University.
- Gopi, S. (2007). *Advanced Surveying: Total Station, GIS and Remote Sensing*. Pearson Education India.
- Graham, R. dan Koh, A. (2002). *Digital aerial survey: theory and practice*. CRC Press.
- Gundlach, J. (2012). *Designing Unmanned Aircraft Systems: A Comprehensive Approach*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

- Gurtner, A., Greer, D. G., Glasscock, R., Mejias, L., Walker, R. A. dan Boles, W. W. (2009). Investigation of fish-eye lenses for small-UAV aerial photography. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 47(3), 709-721.
- Hamilton, S. (2012). *UAVs: Unmanned Aerial Vehicles*. ABDO Publishing Company.
- Hashim, K. A., Darwin, N. H., Ahmad, A. dan Samad, A. M. (2013). *Assessment of low altitude aerial data for large scale urban environmental mapping*. Paper presented at the Signal Processing and its Applications (CSPA), 2013 IEEE 9th International Colloquium on, 229-234.
- Hassan, F. M., Lim, H. dan Jafri, M. M. (2011). CropCam UAV for Land Use/Land Cover Mapping over Penang Island, Malaysia. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 19.
- Hinkler, J., Pedersen, S. B., Rasch, M. dan Hansen, B. U. (2002). Automatic snow cover monitoring at high temporal and spatial resolution, using images taken by a standard digital camera. *International Journal of Remote Sensing*, 23(21), 4669-4682.
- Hudzietz, B. P. dan Saripalli, S. (2011). *An experimental evaluation of 3d terrain mapping with an autonomous helicopter*. Paper presented at the Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics
- Jacobsen, K. (2013). DEM Generation from High Resolution Satellite Imagery. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, 2013(5), 483-493.
- Jain, S., Nuske, S., Chambers, A., Yoder, L., Cover, H., Chamberlain, L., et al. (2011). *Autonomous river exploration*. Paper presented at the Proc. of The 9th Intl. Conf. on Field and Service Robots (FSR). Brisbane, Australia.
- Jones IV, G. P., Pearlstine, L. G. dan Percival, H. F. (2006). An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 750-758.
- Laliberte, A. S., Herrick, J. E., Rango, A. dan Winters, C. (2010). Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(6), 661-672.
- Lane, S. (2000). The measurement of river channel morphology using digital photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 16(96), 937-961.

- Lee, I. S., Lee, J. O., Kim, S. J. dan Hong, S. H. (2013). Orhtophoto accuracy assessment of ultra-light fixed wing UAV photogrammetry techniques. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(6), 2593-2600.
- Lee, K. (2004). *Development of unmanned aerial vehicle (uav) for wildlife surveillance*. University of Florida.
- Leopold, L. dan Gordon Wolman, M. (2008). River channel patterns: braided, meandering and straight. *Geological Survey professional paper* ((282-B).
- Li, Z., Chen, J. dan Baltsavias, E. (2008). *Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences: 2008 ISPRS congress book*: CRC Press.
- Li, Z., Zhu, C. dan Gold, C. (2010). *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.
- Linder, W. (2009). *Digital photogrammetry*. Springer.
- Lisle, T. E. (1998). Applied River Morphology. *Transactions of the American Fisheries Society*, 127(5), 856-856.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. dan Harley, I. (2006). *Close range photogrammetry: Principles, methods and applications*. Whittles.
- Martin, S., Bange, J. dan Beyrich, F. (2011). Meteorological profiling of the lower troposphere using the research UAV" M 2 AV Carolo". *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(4), 705-716.
- Matthews, N. dan Noble, T. (2008). Aerial and close-range photogrammetric technology: providing resource documentation, interpretation, and preservation. *Technical Note*, 428, 42.
- McGeer, T., Newcome, L. dan Vagners, J. (1999). *Quantitative risk management as a regulatory approach to civil UAVs*. Paper presented at the International Workshop on UAV Certification.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. dan McGlone, J. C. (2001). *Introduction to modern photogrammetry* (Vol. 1): John Wiley & Sons Inc.
- Militaryfactory, (2014).. Fieseler Fi 103R (Reichenberg) Pilot-Guided Suicide Fighter 1994. Diakses pada 25 Ogos 2014
- Morgan, D. dan Falkner, E. (2001). *Aerial mapping: methods and applications*. CRC Press.

- Newcome, L. R. (2005). *Unmanned aviation: a brief history of unmanned aerial vehicles*: Pen and Sword.
- Nguyen, H. S., Skowron, A. dan Szczuka, M. (2001). *Situation identification by unmanned aerial vehicle*. Paper presented at the Rough Sets and Current Trends in Computing, 49-56.
- Niethammer, U., Rothmund, S., James, M., Travelletti, J. dan Joswig, M. (2010). UAV-based remote sensing of landslides. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(Part 5), 496-501.
- Niethammer, U., Rothmund, S. dan Joswig, M. (2009). UAV-based remote sensing of the slow-moving landslide Super-Sauze. *Landslide processes, Ed: CERG Editions, Strasbourg*, 69-74.
- Northrop Grumman, (2014). Global Hawk. Diakses pada 15 Ogos 2014.
- Paine, D. P. dan Kiser, J. D. (2003). *Aerial photography and image interpretation*: John Wiley & Sons.
- Petrie, G. dan Kennie, T. (1987). Terrain modelling in surveying and civil engineering. *Computer-aided design*, 19(4), 171-187.
- Quigley, M., Goodrich, M. A. dan Beard, R. W. (2004). *Semi-autonomous human-UAV interfaces for fixed-wing mini-UAVs*. Paper presented at the Intelligent Robots and Systems, 2004.(IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on, 2457-2462.
- Rango, A., Laliberte, A., Havstad, K., Winters, C., Steele, C. dan Browning, D. (2010). *Rangeland resource assessment, monitoring, and management using Unmanned Aerial Vehicle-based remote sensing*. Paper presented at the Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International, 608-611.
- Sach, J. (2003). Digital Aerial Survey: Theory and Practice. *The Photogrammetric Record*, 18(102), 179-180.
- Samad, A. M., Ahmad, A. dan Ishak, N. (2010). *Assessment of digital camera for mapping stream using close range photogrammetric technique*. Paper presented at the Signal Processing and Its Applications (CSPA), 2010 6th International Colloquium on, 1-5.
- Scherer, S., Rehder, J., Achar, S., Cover, H., Chambers, A. dan Nuske, S. (2012). River mapping from a flying robot: state estimation, river detection, and obstacle mapping. *Autonomous Robots*, 33(1-2), 189-214

- Sheriand, R. P. (2012). Three useful dimensions for domain applicability in QSAR models using random forest. *Journal of chemical information and modeling*, 52(3), 814-823.
- Slama, C. C., Theurer, C. dan Henriksen, S. W. (1980). *Manual of photogrammetry*. American Society of photogrammetry.
- Smith, M. (1997). Close range photogrammetry and machine vision. *Survey Review*, 34(266), 276-276.
- Srinivasan, S., Latchman, H., Shea, J., Wong, T. dan McNair, J. (2004). *Airborne traffic surveillance systems: video surveillance of highway traffic*. Paper presented at the Proceedings of the ACM 2nd international workshop on Video surveillance & sensor networks, 131-135.
- Sun, J., Jiao, W., Wu, H. dan Shi, C. (2013). *China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2013 Proceedings: BeiDou/GNSS Navigation Applications• Test & Assessment Technology• User Terminal Technology* (Vol. 243): Springer.
- Tahar, K. N. dan Ahmad, A. (2012). A simulation study on the capabilities of rotor wing unmanned aerial vehicle in aerial terrain mapping. *International Journal of Physical Sciences*, 7(8), 1300-1306.
- Tahar, K. N., Ahmad, A. dan Akib, W. W. M. (2011). *UAV-based stereo vision for photogrammetric survey in aerial terrain mapping*. Paper presented at the Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2011 IEEE International Conference on, 443-447.
- Tahir, A. H. (1990). *Asas fotogrametri*. Penerbit Universiti Teknologi Malaysia.
- Teoh, C., Hassan, D. A., Radzali, M. M. dan Jafni, J. (2012). Prediction of SPAD chlorophyll meter readings using remote sensing technique. *J Trop. Agric. and Fd Sc*, 40(1), 127-136.
- Toscano, M. (2014). Unmanned aircraft systems roadmap to the future. Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI)
- Udin, W. S. dan Ahmad, A. (2012). Large scale mapping using digital aerial imagery of unmanned aerial vehicle. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(11), 1-6.
- Udin, W. S., Hassan, A. F., Ahmad, A. dan Tahar, K. N. (2012). *Digital terrain model extraction using digital aerial imagery of unmanned aerial vehicle*. Paper presented at the Signal Processing and its Applications (CSPA), 2012 IEEE 8th International Colloquium on, 272-275.

- Udin, W. S. dan Ahmad, A. (2012). The Potential Use of Rotor Wing Unmanned Aerial Vehicle for Large Scale Stream Mapping. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 3(12)
- Valavanis, K. P., Oh, P. Y. dan Piegler, L. A. (2008). *Unmanned Aircraft Systems: International Symposium on Unmanned Aerial Vehicles, UAV'08*: Springer.
- Van Blyenburgh, P. (1999). UAVs: an overview. *Air & Space Europe*, 1(5), 43-47.
- Wan Juliyana Wan Abdul Razak (2012). *Ketepatan planimetri foto udara digital unmanned aerial vehicle untuk menyokong pemetaan berskala besar*. Faculty of Geoinformation and Real Estate, Universiti Teknologi Malaysia.
- Westaway, R., Lane, S. dan Hicks, D. (2003). Remote survey of large-scale braided, gravel-bed rivers using digital photogrammetry and image analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 24(4), 795-815.
- Wigglesworth, J. dan Allan, A. (2003). Digital Aerial Survey: Theory and Practice. *Survey Review*, 37(288), 162-164.
- Wikipedia, (2014). Kattering Bug. Diakses pada 15 Ogos 2014.
- Wikipedia, (2014). Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout. Diakses pada 20 Julai 2014.
- Wikipedia, (2014). Alliant RQ-6 Outrider. Diakses pada 20 Julai 2014.
- Wikipedia, (2014). General Atomics MQ-1 Predator. Diakses pada 20 Julai 2014.
- Wikipedia, (2014). Boeing X-45. Diakses pada 20 Julai 2014.
- Wikipedia, (2014). Lockheed Martin RQ-3 DarkStar. Diakses pada 21 September 2014.
- Wolf, P. dan Dewitt, B. (2000). *Elements of Photogrammetry with GIS applications: The Mc Graw-Hill Companies*, 3rd Edition, USA.
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A. dan Wilkinson, B. E. (2000). *Elements of Photogrammetry: with applications in GIS* (Vol. 3): McGraw-Hill New York.
- Writer, S., (2014). The Fi 103R was the piloted version of the devastating and effective V-1 terror rocket. Diakses pada 12 Ogos 2014.
- Zhang, X. (1996). The Vietnam War, 1964-1969: A Chinese Perspective. *Journal of Military History*, 60, 731-762.

Zhang, Z., Yang, S., Zhang, J. dan Ke, T. (2007). Multi-Baseline Digital Close-Range Photogrammetry [J]. *Geospatial Information*, 1, 000.

Zongjian, L. (2008). UAV for mapping—low altitude photogrammetric survey. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Beijing, China*. 37, 1183-1186.