

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Fotogrametri mempunyai berbagai definisi yang diberikan oleh beberapa pakar fotogrametri. Definisi fotogrametri yang paling populer digunakan adalah definisi yang diberikan oleh Slama (1980) di dalam *Manual of Photogrammetry* seperti berikut:

“the art, science and technology of obtaining reliable information about physical objects and the environment through several processes. These include the process of recording, measuring and interpreting photographic images and patterns of recorded radiant electromagnetic energy and other phenomena”.

Beberapa pakar fotogrametri terkemuka yang lain turut menggunakan definisi yang sama seperti Wolf (1983) dan Karara (1989). Terdapat juga sebahagian daripada pakar fotogrametri memberi definisi fotogrametri dengan sedikit perbezaan, contohnya, Abdul Hamid Tahir (1990) mentakrifkan fotogrametri sebagai satu kajian ilmu sains, seni atau teknik mengenai pengukuran yang dibuat di atas foto yang diambil dengan menggunakan kamera metrik sama ada foto itu diambil dari udara mahupun dari permukaan bumi. Walaubagaimanapun definisi yang dipopularkan oleh Slama (1980) masih diterima dan digunakan oleh pakar-pakar fotogrametri sehingga ke hari ini. Fryer (1996a) memberi definisi fotogrametri berdasarkan

kepada perkembangan dalam bidang komputer dan teknologi elektronik seperti berikut:

“the science and art of determining the size and shape of object after analysing the images recorded either on film or electronic media”.

Daripada penjelasan di atas mengenai definisi fotogrametri bolehlah disimpulkan bahawa fotogrametri boleh dilaksanakan dengan menggunakan kamera metrik dan kamera bukan metrik seperti kamera 35mm, kamera digital, kamera CCD (*Charge Couple Device*) dan kamera video analog. Disamping itu secara umum, pelaksanaan fotogrametri melibatkan tiga peringkat yang penting iaitu data input, pemprosesan data dan data output.

Fotogrametri boleh diklasifikasikan sebagai fotogrametri udara dan bumi. Secara ringkas, fotogrametri udara melibatkan fotograf yang diambil dengan kamera metrik yang diletakkan diperut kapalterbang manakala fotogrametri bumi melibatkan fotograf yang diambil di atas bumi dengan kamera metrik atau kamera bukan metrik.

Dalam fotogrametri bumi, fotograf diambil pada jarak kurang daripada 300 meter dari kamera ke objek (Wolf and Dewitt, 2000). Istilah fotogrametri jarak dekat telah diperkenalkan oleh Cooper dan Robson (1996) di mana jarak objek ke kamera adalah kurang daripada 100 meter hingga ke beberapa sentimeter dan kedudukan kamera adalah hampir kepada objek. Fotogrametri jarak dekat mempunyai ciri-ciri tertentu. Di antara ciri-ciri tersebut ialah hanya beberapa fotograf terpilih boleh diambil atau seluruh fotograf objek diambil dengan kedudukan kamera mengelilingi objek. Dalam proses fotografi, biasanya paksi kamera adalah konvergen dan dihalakan ke pusat objek manakala bagi konfigurasi normal paksi kamera adalah selari ke objek. Disamping itu koordinat titik-titik di atas permukaan objek memerlukan ketepatan yang sama pada keseluruhan objek. Dalam fotogrametri jarak dekat model matematik digunakan untuk menghasilkan koordinat dalam sistem tiga dimensi bagi titik-titik di atas objek. Biasanya koordinat tiga dimensi ini dihasilkan dengan menggunakan kaedah palarasan kuasa dua terkecil dengan darjah kebebasan yang besar. Keputusan fotogrametri jarak dekat biasanya dapat diperolehi dengan cepat selepas fotograf diambil dan seterusnya keputusan tersebut boleh digunakan untuk proses selanjutnya yang berkaitan dengan objek yang diukur. Contohnya,

koordinat yang dihasilkan boleh digunakan untuk membandingkan objek yang diukur dengan saiz dan bentuk sebenar atau dibandingkan dengan set koordinat yang dihasilkan untuk mengesan anjakan objek. Koordinat yang diterbitkan boleh juga diproses menggunakan komputer grafik untuk menghasilkan model tiga dimensi CAD bagi objek yang diukur dan produk-produk lain seperti pelan, pandangan sisi atau keratan rentas dengan menggunakan perisian-perisian yang berkaitan. Satu lagi ciri penting fotogrametri jarak dekat ialah pelbagai masalah pengukuran boleh diselesaikan dengan menggunakan kaedah ini.

Fotogrametri jarak dekat boleh digunakan untuk beberapa aplikasi seperti aplikasi seni bina untuk pemetaan fasad permukaan luar/dalam bangunan bersejarah serta monumen, aplikasi industri seperti industri automobil, penerbangan, perkapalan dan sebagainya serta aplikasi lain seperti fotogrametri perubatan, forensik, arkeologi dan kemalangan. Oleh kerana fotogrametri jarak dekat mempunyai berbagai kegunaan dan aplikasi, *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)* telah memberi pengiktirafan kepada bidang ini dengan meletakkan bidang ini di bawah salah satu daripada tujuh 'commission' iaitu 'Commission V' untuk penyelidikan-penyelidikan dan pakar-pakar fotogrametri membincangkan isu-isu yang berkaitan dan perkembangan bidang ini (Karara, 1989). Pertubuhan ini mengadakan kongres setiap empat tahun bagi membolehkan mereka yang terlibat dalam bidang ini bersidang dan bertukar-tukar pendapat.

Dari segi sejarah fotogrametri jarak dekat, kaedah ini mula-mula diperkenalkan oleh seorang bangsa Perancis iaitu Laussedat. Beliau digelar sebagai bapa fotogrametri (Abdul Hamid Tahir, 1990; Fryer, 1996a). Beliau telah membangunkan satu kaedah pada tahun 1850an untuk pemetaan bandaraya Paris berdasarkan maklumat geometri fotograf yang diambilnya dari atas bumbung bangunan tinggi. Dia menggunakan satu garis dasar yang diukur dan teknik persilangan untuk menentukan butiran dari sepasang fotograf stereo dari satu titik ke titik lain. Konsep kaedah ini masih digunakan hingga ke hari ini. Walaubagaimanapun pada awal abad kedupuluh, Pulfrich yang bekerja dengan Syarikat Zeiss pada masa itu memperkenalkan peralatan baru yang dikenali sebagai stereokomparator yang membolehkan koordinat-koordinat titik imej dari dua fotograf yang diambil secara stereo diukur serentak.

Secara umum, perkembangan fotogrametri jarak dekat adalah sama dengan perkembangan fotogrametri udara sehingga Perang Dunia Pertama di mana kamera udara digunakan untuk mengambil fotograf dan sebahagian daripada pemplot stereo direkabentuk supaya boleh digunakan untuk kedua-dua jenis foto udara dan foto bumi. Walaubagaimanapun selepas tahun 1920an, kegunaan fotogrametri udara begitu menonjol di mana ia digunakan oleh banyak negara di dunia untuk melengkapkan liputan peta bagi sesebuah negara. Dalam fotogrametri udara, fotograf diambil dengan kedudukan paksi optik kamera normal pada permukaan bumi dan selari diantara stesen dedahan. Konfigurasi normal ini digunapakai oleh fotogrametri jarak dekat sehingga tahun 1960an. Maklumat lanjut mengenai fotogrametri udara yang membincangkan tentang geometri, kaedah-kaedah, peralatan dan sebagainya boleh didapati di dalam *Manual of Photogrammetry* (Slama, 1980), *Element of Photogrammetry* (Wolf, 1983; Wolf and Dewitt, 2000), *Non-Topographic Photogrammetry* (Karara, 1989) dan *Asas Fotogrametri* (Abdul Hamid Tahir, 1990).

Pada tahun 1970an, ahli-ahli fotogrametri telah menggunakan kamera bukan metrik untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi objek. Sebagai contoh, Karara dan Abdel-Aziz (1974) telah menggunakan kamera bukan metrik untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi objek dengan memperkenalkan satu kaedah penurunan data yang dikenali sebagai *Direct Linear Transformation* (DLT). Secara ringkas, kaedah DLT melibatkan penyelesaian persamaan kekolinearan di mana koordinat komparator digunakan terus untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi objek tanpa memerlukan transformasi koordinat dari koordinat komparator ke koordinat foto. Menurut Fryer (1996a), pada tahun 1970an jurukur dan ahli-ahli fotogrametri telah menggunakan komputer untuk membantu mereka menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan pengukuran. Disamping itu tahun 1970an juga menyaksikan permulaan era fotogrametri analitik. Dalam fotogrametri analitik, model matematik yang digunakan adalah persamaan kekolinearan yang digunakan untuk menentukan kedudukan spatial serta orientasi dalaman dan luaran kamera. Dalam fotogrametri analitik komputer digunakan untuk menyelesaikan persamaan kekolinearan secara interaktif dan dalam pemplot analitik penyelesaian dilaksanakan sekitar 50-100 kali bagi setiap saat oleh komputer sebagai latar belakang sehingga operator dapat

melihat model tiga dimensi yang bebas dari gangguan semasa membuat cerapan atau pendigitan (Wolf, 1983).

Pemplot analitik telah mendapat sambutan yang meluas dari organisasi-organisasi yang terlibat dengan pemetaan dan institusi-institusi pengajian tinggi disebabkan ia boleh digunakan untuk berbagai aplikasi. Diantara punca mengapa pemplot analitik diminati ramai kerana ia boleh menempatkan foto yang diambil dari pelbagai penderia (seperti kamera metrik, kamera separuh-metrik dan kamera bukan metrik), pelbagai jarak fokus, pelbagai konfigurasi fotograf (iaitu sama ada stereo atau konvergen) dan pelbagai format fotograf (iaitu 230mm x 230mm, 60mm x 60mm atau format lebih kecil lagi). Pada tahun 1980an, pemplot analitik telah menjadi alat yang standard untuk berbagai aplikasi sama ada untuk fotogrametri udara atau fotogrametri jarak dekat. Walaubagaimanapun diantara kelemahan pemplot analitik ini ialah kosnya tinggi hingga menyebabkan tidak semua organisasi mampu memilikinya. Pada hari ini masih ada lagi organisasi yang menggunakan pemplot analitik tetapi bilangannya adalah kecil kerana pada awal tahun 1990an menyaksikan kemunculan era fotogrametri digital.

Fotogrametri digital mempunyai beberapa definisi yang dijelaskan oleh pakar-pakar fotogrametri. Menurut Karara (1989), fotogrametri digital melibatkan beberapa proses yang berurutan. Mula-mula fotograf dalam bentuk salinan keras diimbas dengan menggunakan pengimbas atau imej-imej digital diperolehi secara langsung dari kamera digital. Proses seterusnya ialah data digital diperolehi diproses dengan menggunakan perisian tertentu dan menggunakan komputer. Fotogrametri digital juga melibatkan penggunaan piksel dan teknik-teknik pemprosesan imej untuk mendapatkan maklumat geometri. Dengan perkembangan yang pesat dalam perkakasan dan perisian komputer, definisi fotogrametri digital dijelaskan dengan lebih mantap lagi oleh Gulch (1994) dan Petrie dan Walker (1996) yang menyatakan bahawa fotogrametri digital didefinisikan sebagai perkakasan dan perisian komputer untuk menghasilkan produk fotogrametri seperti ortofoto digital, mozek, peta topografi, model ketinggian digital (*Digital Terrain Model*, DTM) dan sebagainya dari imej-imej digital secara semi-automatik atau automatik. Istilah lain yang digunakan untuk fotogrametri digital ialah '*softcopy photogrammetry*'. Bagi fotogrametri udara, fotogrametri digital biasanya digunakan untuk pemetaan dan

ulangkaji peta (*map revision*), ortofoto digital, penyegitigaan udara dan pembentukan model ketinggian digital (Kolbl, 1996; Boniface, 1994). Manakala fotogrametri jarak dekat digital digunakan untuk mendapatkan hasil yang sama seperti fotogrametri udara serta pembentukan model digital tiga dimensi. Disamping itu fotogrametri jarak dekat digital boleh digunakan bagi berbagai aplikasi yang sama seperti kaedah konvensional.

Dalam fotogrametri digital, stesenkerja (*workstation*) adalah ‘*workhorse*’ untuk ‘*production line*’ bagi menghasilkan produk fotogrametri secara automatik dan melaksanakan prosedur orientasi dalaman, relatif dan absolut secara automatik (Heipke, 1997a; 1997b). Di awal era fotogrametri digital, kos bagi satu sistem fotogrametri digital yang mempunyai komponen-komponen seperti komputer, alat perolehan data, contohnya kamera digital, pengimbas dan perisian adalah mahal. Diantara contoh-contoh sistem fotogrametri digital yang terdapat di pasaran pada hari ini ialah Helava DPW 770 (Helava Associates Inc.), VirtuoZo (Republik Rakyat China), Phodis-ST (Carl Zeiss), InterMap Image Station (I²S, Intergraph), PRI²SM (International Imaging System) dan Erdas Imagine (Leica). Di awal era fotogrametri digital juga, kebanyakan sistem fotogrametri digital yang dibentuk menggunakan stesenkerja yang mampu menyimpan banyak data digital serta mampu memproses data dengan pantas (Saleh *et al.*, 1994). Walaubagaimanapun terdapat sebahagian daripada sistem fotogrametri digital menggunakan komputer peribadi.

Pada hari ini, kos sistem fotogrametri digital telah berkurangan kerana terdapat persaingan diantara pengeluar-pengeluar sistem ini. Kini di pasaran telah wujud sistem fotogrametri digital kos rendah yang menggunakan komputer peribadi seperti Desktop Digital Photogrammetric System (DDPS, 3D Mapper Pty. Ltd.), Digital Video Plotter (DVP Geometric System Inc.), PhotoMOD (RACURS, Co.), DiAP (International SysMap Corp.) dan lain-lain sistem. Sistem fotogrametri digital yang tersenarai di atas bukan sahaja mampu memproses imej fotogrametri udara tetapi ia juga mampu memproses imej satelit dan imej fotogrametri jarak dekat. Bagi fotogrametri jarak dekat kini terdapat beberapa sistem fotogrametri digital yang dibangunkan khas untuk bidang ini. Diantara sistem yang berada di pasaran ialah Rolleimetric, FotoG, Sight Model dan Vexcel. Disamping itu pada hari ini terdapat juga beberapa perisian kos rendah untuk fotogrametri jarak dekat di pasaran yang

mudah digunakan bagi menghasilkan model 3D seperti PhotoModeler (EOS System Inc.) dan ShapeCapture (ShapeCapture Inc.). Perisian-perisian ini mudah digunakan serta telah digunakan untuk beberapa aplikasi oleh ahli fotogrametri. Pada hari ini kaedah fotogrametri digital bukan sahaja digunakan oleh ahli fotogrametri tetapi ahli profesional lain seperti polis, jurutera, arkitek, ahli geomorfologi, doktor dan saintis kerana sistem fotogrametri digital boleh dikendalikan oleh sesiapa sahaja tanpa memerlukan kemahiran dan pengetahuan yang tinggi dan mendalam mengenai fotogrametri.

Dalam fotogrametri digital, imej digital boleh diperolehi dengan menggunakan kamera digital, kamera *Charge Couple Device* (CCD) atau kamera video analog. Bagi kamera video analog imej digital diperolehi dengan bantuan pengekang bingkai (*frame grabber*) dan untuk kamera berasaskan filem, imej digital diperolehi dengan membuat imbasan ke atas fotografer. Secara umum, terdapat dua jenis kamera digital yang dikategorikan sebagai kamera digital '*still*' dan kamera video analog. Kamera CCD dikategorikan sebagai kamera video analog. Bagi setiap jenis kamera digital terdapat CCD 'chip'. CCD digunakan untuk merekod jumlah cahaya yang terdapat pada permukaannya. Fungsi CCD adalah menukar photon yang terdapat di atas permukaan penerima kepada isyarat elektronik dan seterusnya kepada format digital. Proses penukaran ini berlaku di dalam kamera digital '*still*' dan proses ini berlaku di luar bagi kamera video analog. CCD disusun dalam bentuk linear atau matrik. CCD dalam bentuk linear digunakan untuk mengimbas sesuatu permukaan dan proses ini mengambil masa. Tetapi CCD dalam bentuk matrik seperti yang terdapat dalam kamera digital '*still*' dapat merekod semua cahaya yang terdapat di atas sesuatu permukaan dua dimensi pada masa dedahan. Pada asasnya, CCD bentuk linear digunakan untuk penerima satelit atau *airborne* manakala CCD bentuk matrik boleh digunakan untuk aplikasi fotogrametri udara dan fotogrametri jarak dekat. Kedua-dua kamera digital '*still*' dan kamera video analog menggunakan penerima CCD dalam bentuk matrik.

Kamera digital '*still*' boleh digunakan untuk mengambil satu imej pada suatu masa dan mempunyai storan yang mampu menyimpan banyak imej digital. Proses pengambilan imej bagi kamera digital adalah sama dengan kamera yang berasaskan filem. Imej dari kamera digital diperolehi secara langsung (Dowman, 1996; Shortis

and Beyer, 1996; McIntosh, 1997a, 1997b) manakala imej digital dari kamera berasaskan filem boleh diperolehi selepas mencuci filem dan membuat imbasan terhadap filem yang telah dicuci (Slama, 1980; Wolf, 1983 dan Karara, 1989). Kamera video analog pula boleh digunakan untuk mengambil gambar yang berterusan sebagai isyarat elektronik pada kadar 30 bingkai atau imej per saat. Biasanya pengekang bingkai digunakan untuk menukar bingkai yang dipilih dengan membuat kekangan imej dari isyarat analog kepada bentuk digital. Imej digital terdiri daripada beberapa bilangan elemen-elemen kecil yang dikenali sebagai piksel. Secara umum, piksel mempunyai bentuk segiempat sama dan saiznya adalah kecil. Penerangan lanjut mengenai piksel diterangkan dalam Seksyen 2.3. Setiap piksel mewakili satu tahap kekelabuan (julat nilai kekelabuan adalah dari 0 hingga 255 di mana nilai 0 adalah hitam dan nilai 255 adalah putih) berdasarkan kepada ketumpatan cahaya pada titik berkenaan (Dowman, 1996). Piksel diukur dalam unit mikrometer (mikron) dan apabila saiz piksel berkurangan biasanya resolusi imej meningkat.

Kamera digital '*still*' atau ringkasnya kamera digital, mempunyai bentuk saiz penderia dan resolusi yang berbeza. Saiz penderia didefinisikan sebagai dimensi fizikal lebar dan tinggi susunan penderia dalam unit millimeter atau inci (Shortis and Beyer, 1996). Resolusi pula di definisikan sebagai bilangan piksel mengufuk didarabkan dengan bilangan piksel menegak (Shortis and Beyer, 1996). Sebagai contoh, satu kamera digital kos rendah (contoh, kamera video analog) mempunyai lebih kurang 700 x 500 piksel yang akan menghasilkan resolusi 350,000 piksel (0.35 Megapiksel). Jika saiz satu piksel ialah 10 μm maka saiz penderia atau dimensi susunan adalah 7 x 5 mm. Saiz sesuatu fail untuk menyimpan data digital bergantung kepada saiz piksel di mana satu piksel bersamaan dengan satu bit. Sebagai contoh, kamera digital yang mempunyai 1,500 x 1,000 piksel memerlukan 1,500,000 piksel (1.5 Megapiksel) atau 1.5 Megabit. Kamera digital yang mempunyai kurang daripada 500,000 piksel, 500,000 ke 1.5 Megapiksel dan melebihi 1.5 Megapiksel masing-masing dikenali sebagai resolusi rendah, sederhana dan tinggi (Shortis and Beyer, 1996).

Diperingkat awal pengeluaran kamera digital, harganya adalah mahal di hujung tahun 1990an dan di awal tahun 2000an. Sebagai contoh, harga kamera

digital kompak Kodak DC120 ialah RM3, 000 bagi 1.2 Megapiksel pada tahun 1999. Harga kamera digital kompak bagi jenama lain adalah mahal juga pada tempoh berkenaan. Pada hari ini, perkembangan teknologi kamera digital yang pesat telah menyebabkan harga kamera digital bertambah murah. Sebagai contoh, pada tahun 2005 pengguna boleh membeli kamera digital kompak mempunyai resolusi melebihi 5.0 Megapiksel dengan harga kurang daripada RM3, 000. Begitu juga dengan kamera digital bentuk SLR, pada tahun 2005 pengguna boleh membeli kamera ini dengan harga kurang daripada RM5, 000 dan mempunyai resolusi tinggi. Sebagai contoh, kamera digital SLR Nikon D70 boleh dibeli dengan harga kurang daripada RM5, 000 dan mempunyai resolusi 6.0 Megapiksel. Satu lagi contoh ialah kamera digital SLR CanonEOS-20D yang boleh dibeli dengan harga RM5, 000 dan mempunyai resolusi 8.5 Megapiksel.

Menurut Fraser (2002; 2003b), dalam fotogrametri jarak dekat kamera digital boleh dibahagikan kepada tiga (3) jenis iaitu (i) kamera digital amatur yang berharga kurang daripada RM4, 000 dan mampu memberikan ketepatan relatif kurang daripada 1:20, 000; (ii) kamera digital profesional yang berharga kurang daripada RM20, 000 dan mampu memberikan ketepatan relatif kurang daripada 1:100, 000 dan (iii) kamera digital khusus untuk fotogrametri yang berharga kurang daripada RM240, 000 dan mampu memberikan ketepatan relatif kurang daripada 1:200, 000. Contoh kamera digital amatur adalah kamera digital bentuk kompak dan menggunakan konsep '*point and shoot*'. Secara ringkas, pengguna kamera digital kompak boleh menggunakannya dengan mudah untuk mengambil imej digital. Bagi kamera digital profesional, biasanya ia adalah dalam bentuk SLR dan perlu dipelajari cara menggunakannya dengan betul bagi mendapatkan imej digital yang baik. Kamera digital SLR adalah lebih berat daripada kamera digital amatur. Bagi kamera digital fotogrametri, ianya direka khas untuk aplikasi fotogrametri dan mempunyai ciri-ciri kamera metrik. Parameter kalibrasi kamera ini adalah stabil dan dapat memberikan ketepatan yang tinggi. Walaupun kamera digital fotogrametri dapat memberikan hasil yang baik dan berketepatan tinggi, namun tidak ramai individu atau organisasi mampu memiliki dan menggunakannya disebabkan oleh harganya yang mahal..

1.2 Tujuan dan Objektif Kajian

Tujuan utama kajian ini adalah untuk menilai prestasi kamera digital kompak Kodak untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat. Bagi mencapai tujuan kajian ini, beberapa objektif telah ditetapkan seperti berikut:

1. Menentukan parameter kalibrasi kamera digital kompak berbagai resolusi berdasarkan beberapa eksperimen.
2. Mendapatkan hubungan diantara resolusi kamera digital kompak dengan ketepatan dan kejituan berdasarkan hasil data titik sasaran yang diproses dengan kaedah fotogrametri jarak dekat digital.
3. Menyediakan satu garis panduan untuk pemilihan kamera digital kompak yang sesuai untuk mendapatkan ketepatan yang dikehendaki.
4. Membuat perbandingan diantara hasil kamera digital kompak dengan kamera digital SLR.
5. Untuk membuktikan bahawa kamera digital kompak berkemampuan untuk mendapatkan ketepatan yang tinggi.

1.3 Pernyataan Masalah

Daripada kajian yang telah dijalankan didapati banyak kamera digital SLR yang terdiri dari berbagai resolusi telah digunakan untuk aplikasi-aplikasi fotogrametri jarak dekat terutama dalam bidang industri dan kejuruteraan (Fraser, 1995; Fraser and Shortis, 1994; 1995; Piepe, 1995; Peipe and Schneider, 1995; Ganci and Shortis, 1996; Dold, 1997; Dold and Maas, 1994; Maas and Kersten, 1994). Ketepatan relatif dalam ruang objek adalah 1: 80,000 (Fraser and Shortis, 1995) dan 1:90,000 (Peipe, 1995) telah diterbitkan dengan menggunakan kamera digital SLR resolusi tinggi. Ketepatan relatif ini adalah sama dengan ketepatan yang diperolehi dengan menggunakan kamera berasaskan filem format sederhana seperti kamera metrik Geodetic Services CRC-2 (Fraser and Shortis, 1995). Ketepatan relatif dihitung dengan membahagikan nilai purata ketepatan koordinat X, Y dan Z bagi

sasaran (diterbitkan daripada pelarasan ikatan 'self-calibration) kepada jarak antara dua titik yang terpanjang dalam ruang objek (Fraser and Shortis, 1995; Ahmad and Chandler, 1999). Kejituan relatif pula diperolehi dengan membahagikan kejituan koordinat X, Y dan Z bagi sasaran kepada jarak antara dua titik yang terpanjang dalam ruang objek. Maka di sini bolehlah dikatakan bahawa kamera digital SLR resolusi tinggi boleh digunakan sebagai alat yang jitu untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat (Peipe, 1995; Fraser, 1996b).

Ketepatan relatif boleh diperolehi melalui gabungan geometri jaringan yang kuat, lebihan data (*redundancy*) yang tinggi dan kamera digital yang mempunyai berbagai resolusi. Menurut Dowman (1996), susunan CCD dan saiz piksel adalah ciri-ciri yang sangat penting bagi sesebuah kamera yang ingin digunakan dalam fotogrametri. Ketepatan relatif dan kejituan relatif dalam ruang objek berubah-ubah bukan sahaja berdasarkan resolusi dan saiz penerima kamera digital yang berbeza tetapi keputusan ini bergantung juga oleh faktor-faktor lain seperti saiz sasaran pantulan-retro (Fraser and Shortis, 1995), aturcara pengukuran imej digital yang jitu (Luhman, 1996; Fraser, 1996b) dan teknik-teknik pelarasan ikatan (Luhman, 1996).

Kamera digital boleh digunakan tanpa menyambungkannya dengan komputer semasa proses penggambaran oleh kerana ia mempunyai kemampuan menyimpan imej digital 'on-board'. Maka kamera digital ini dikenali sebagai sistem pengimejan mudah alih dan sistem luar talian (*off-line*) serta boleh beroperasi seperti kamera berasaskan filem format kecil. Imej dari kamera digital ini boleh digunakan dalam bentuk data titik dan data berterusan. Kebiasaannya data titik digunakan untuk menerbitkan koordinat tiga dimensi bagi titik-titik berselerak di atas objek. Dalam pengukuran industri dan kejuruteraan, biasanya sasaran-sasaran pantulan-retro (*retro-reflective targets*) digunakan dalam medan ujian atau diletakkan pada objek untuk menyediakan data titik. Koordinat tiga dimensi bagi titik-titik berselerak, kedudukan kamera dan parameter-parameter kalibrasi kamera dapat ditentukan dengan menggunakan teknik pelarasan ikatan.

Beberapa penyelidikan telah dilakukan dengan menggunakan sasaran-sasaran pantulan-retro dimana ianya berfungsi menyediakan data titik di dalam medan ujian tiga atau dilekatkan pada objek. Kamera yang digunakan untuk mengambil imej

sasaran-sasaran pantulan-retro adalah berdasarkan kamera digital atau kamera berasaskan filem (Chandler and Padfield, 1996; Fraser and Shortis, 1994; 1995; Peipe, 1995; McIntosh, 1997a; 1997b, Ahmad and Chandler, 1999). Kamera-kamera yang digunakan dalam penyelidikan yang telah dinyatakan di atas mempunyai saiz, resolusi dan jenama yang berbeza-beza. Kejituan dan ketepatan relatif yang diperolehi dengan menggunakan kamera-kamera jenis ini sudah pasti berbeza-beza juga. Sebagai contoh, Chandler dan Padfield (1996) melaporkan bahawa dari penyelidikan mereka ketepatan relatif yang diperolehi adalah 1: 3,800 dan kejituan adalah $\pm 0.16/\pm 7.5 \mu\text{m}$ dengan menggunakan kamera berasaskan filem format 35mm dan 70 mm yang diimbis. Keputusan ini adalah lebih rendah daripada ketepatan relatif 1:80,000 dan kejituan $\pm 0.2/\pm 0.18\mu\text{m}$ yang diperolehi oleh Fraser dan Shortis (1995) di mana mereka menggunakan kamera digital yang lebih tinggi dari segi resolusi iaitu kamera digital SLR Kodak DCS200. Kamera digital ini mempunyai resolusi 1.5 Megapiksel dan saiz penderia ialah 14 x 9.3 mm. Walaubagaimanapun satu keputusan ketepatan relatif yang lebih baik iaitu melebihi 1:100,000 telah diperolehi oleh Peipe (1997) yang menggunakan kamera digital resolusi tinggi. Kamera digital yang digunakan mempunyai resolusi 16 Megapiksel dan saiz penderia ialah 60 x 60 mm.

Contoh-contoh di atas menunjukkan bahawa saiz penderia dan resolusi memberi kesan kepada ketepatan dan kejituan data fotogrametri yang dihasilkan. Dari kajian literatur yang telah dijalankan didapati bahawa banyak penyelidikan telah dijalankan menggunakan kamera digital Kodak siri DCS seperti Kodak DCS200, Kodak DCS420 dan Kodak DCS460 (Robson and Shortis, 1998). Kamera-kamera digital ini adalah dalam bentuk SLR di mana pengguna mempunyai kawalan terhadapnya. Walaubagaimanapun harga kamera-kamera digital ini sangat mahal. Dari kajian literatur juga didapati bahawa kamera digital kompak yang menggunakan kaedah '*point and shoot*' sangat kurang digunakan untuk aplikasi fotogrametri jarak dekat (Ahmad and Chandler, 1999). Dalam kajian yang dilakukan oleh Ahmad dan Chandler (1999), kamera digital kompak DC50 telah digunakan bersama-sama dengan kamera digital SLR Kodak DCS420 dan DCS460. Dari kajian itu didapati kamera digital kompak DC50 berpotensi digunakan dalam aplikasi fotogrametri jarak dekat. Pada hari ini kamera digital kompak ada digunakan bersama-sama dengan perisian-perisian fotogrametri jarak dekat kos rendah seperti perisian PhotoModeler

dalam beberapa aplikasi fotogrametri jarak dekat tetapi ketepatan yang dihasilkan tidaklah tinggi (EOS, 1999).

Walaupun kamera digital SLR telah digunakan secara meluas dalam beberapa aplikasi fotogrametri jarak dekat namun kamera digital kompak berpotensi digunakan dalam aplikasi-aplikasi fotogrametri jarak dekat untuk memberikan hasil yang dikehendaki terutama apabila kejituan dan ketepatan yang tinggi tidak diperlukan. Kamera digital kompak boleh diperolehi dalam berbagai resolusi. Sebahagian daripada resolusi kamera digital kompak ini lebih tinggi atau sama dengan resolusi kamera digital bentuk SLR. Sebagai contoh, resolusi kamera digital kompak Kodak DC280 (2.0 Megapiksel; saiz satu piksel ialah 2.73 mikron) adalah lebih tinggi daripada resolusi kamera digital Kodak DCS420 (1.5 Megapiksel; saiz satu piksel ialah 9.0 mikron). Disamping itu kos kamera digital Kodak DCS420 (anggaran RM120,000 pada tahun 1999) lebih mahal berbanding dengan kamera digital Kodak DC280 (anggaran RM3,000 pada tahun 1999). Jika dilihat dari segi kos, secara umum didapati lebih ramai pengguna boleh memiliki kamera digital kompak berbanding dengan kamera digital SLR tetapi adakah prestasi kamera digital kompak lebih baik daripada prestasi kamera digital bentuk SLR. Oleh itu kajian perlu dijalankan untuk melihat prestasi kamera digital kompak yang berbagai resolusi terhadap data fotogrametri dari aspek kejituan dan ketepatan yang dihasilkan. Disamping itu kajian perlu dijalankan untuk mengkaji sama ada kejituan dan ketepatan relatif akan meningkat apabila resolusi kamera digital kompak meningkat kerana dalam kajian literatur didapati bahawa apabila resolusi kamera digital SLR meningkat maka kejituan dan ketepatan relatif yang dihasilkan turut meningkat. Sekiranya kamera digital kompak dapat memberikan hasil yang sama atau lebih baik lagi daripada hasil kamera digital SLR maka pengguna-pengguna bidang fotogrametri jarak dekat mempunyai pilihan bentuk kamera digital yang ingin digunakan bagi sesuatu aplikasi atau projek.

Dalam kajian ini, kamera digital kompak yang mempunyai resolusi rendah, sederhana dan tinggi seperti yang kategorikan oleh Shortis dan Beyer (1996) digunakan dalam lima eksperimen yang berlainan. Disamping itu sebuah kamera digital SLR resolusi tinggi turut digunakan dalam eksperimen sebagai perbandingan.

1.4 Kepentingan Kajian

Bagi ahli fotogrametri, jurutera, saintis dan ahli-ahli professional yang lain, mereka boleh menggunakan kamera digital bersama-sama dengan perisian yang sesuai untuk mendapatkan koordinat tiga dimensi dalam ruang objek atau ruang spatial (contoh, digunakan untuk tujuan pemeriksaan atau pengesahan kualiti), model ketinggian digital (DTM), ortofoto, pelan, keratan rentas, model tiga dimensi (3D) atau produk fotogrametri yang lain. Bagi pengguna fotogrametri jarak dekat, mereka boleh menggunakan kamera digital SLR resolusi tinggi untuk mendapatkan hasil yang baik termasuklah aspek kejituan dan ketepatan relatif yang tinggi. Walaubagaimanapun pengguna fotogrametri jarak dekat boleh juga menggunakan kamera digital kompak di mana sebahagian daripadanya mempunyai resolusi yang tinggi yang dapat memberikan hasil yang baik walaupun hasil ini mungkin tidak dapat menandingi hasil dari kamera digital SLR. Dalam sesesuat aplikasi fotogrametri atau projek, tahap hasil yang ingin diperolehi tidak semestinya berkejituan dan berketepatan relatif yang tinggi kerana terdapat juga aplikasi atau projek yang hanya memerlukan hasil yang berkejituan dan berketepatan relatif yang sederhana atau rendah. Maka pengguna boleh menggunakan kamera digital kompak untuk mendapatkan hasil pada tahap kejituan dan ketepatan relatif yang rendah ke sederhana. Disamping itu kadangkala pengguna mempunyai kewangan yang terbatas dan tidak mampu memiliki kamera digital SLR bersama-sama dengan perisian yang berkaitan. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan kamera digital kompak yang murah kosnya (berbanding dengan kos kamera digital SLR) bersama-sama dengan perisian kos rendah untuk mendapatkan hasil yang diperlukan.

1.5 Skop Kajian

Dalam kajian ini dua bentuk medan ujian telah dibina iaitu medan ujian satah (*plane test field*) dan medan ujian tiga dimensi (*three dimensional test field*). Dalam medan-medan ujian ini sasaran pantulan-retro digunakan bagi menyediakan set data titik. Koordinat bagi sasaran pantulan-retro ditentukan dengan menggunakan kaedah

persilangan 'Total Station' dan dijadikan sebagai 'Nilai Terbaik' atau nilai rujukan. Medan-medan ujian ini digunakan untuk membuat kalibrasi bagi empat kamera digital kompak yang berlainan resolusi.

Selain daripada medan ujian, keempat-empat kamera digital kompak Kodak yang digunakan dalam kajian ini digunakan juga untuk mengambil fotograf model blok yang mempunyai ratusan titik-titik warna hitam kecil yang membentuk suatu bentuk permukaan serta digunakan untuk mengesan anjakan plat sasaran yang berdasarkan kepada set data titik. Koordinat bagi titik-titik yang terdapat di atas model blok dan plat sasaran ditentukan juga dengan menggunakan kaedah persilangan 'Total Station'. Koordinat ini juga dijadikan sebagai 'Nilai Terbaik' atau nilai rujukan. Akhir sekali fotograf satu selinder kecil yang dilekatkan dengan tiga lilitan sasaran pantulan-retro diambil. Koordinat sasaran pantulan-retro ini ditentukan dengan menggunakan sistem fotogrametri digital V-STARS dan dijadikan sebagai 'Nilai Terbaik'.

Disamping kamera digital kompak Kodak, dalam kajian ini sebuah kamera digital SLR resolusi tinggi turut digunakan dalam kelima-lima eksperimen yang dinyatakan di atas. Tujuan kamera digital SLR digunakan adalah untuk membandingkan hasilnya dengan hasil kamera digital kompak. Secara umum, skop kajian boleh diringkaskan seperti berikut:

- Memperoleh set data titik dengan menggunakan kamera digital kompak dan SLR untuk pengukuran data titik.
- Melaksanakan beberapa eksperimen bagi mendapatkan set data titik.
- Mengenalpasti kriteria yang sesuai untuk membandingkan data di bawah kategori kejituan dan ketepatan.
- Membuat pengesahan keputusan yang diperolehi dari eksperimen yang dijalankan.

1.6 Metodologi Umum dan Had-had Kajian

Bagi menjayakan kajian ini, kaedah penyelidikan yang digunakan ialah dengan melakukan eksperimen. Dalam skop kajian telah dinyatakan bahawa terdapat lima eksperimen yang dilakukan. Dalam kajian ini, sumber utama data adalah imej digital yang diambil dengan menggunakan kamera digital kompak Kodak. Fotograf-fotograf bagi setiap eksperimen diambil dengan menggunakan konfigurasi konvergen. Setelah fotograf diambil ianya dimuat turunkan ke dalam komputer untuk diproses dengan menggunakan perisian komersial. Seterusnya hasil yang diperolehi dianalisa dari aspek kejituan. Hasil yang diperolehi turut dibandingkan dengan 'Nilai Terbaik' atau nilai rujukan untuk mendapatkan ketepatan. Disamping kamera digital kompak Kodak, sebuah kamera digital bentuk SLR juga digunakan dalam kelima-lima eksperimen.

Dalam kajian ini, eksperimen yang dilakukan adalah dalam persekitaran terkawal (*controlled environment*). Bagi saiz sasaran yang digunakan ianya bergantung kepada jenis eksperimen dan tiada eksperimen yang melibatkan variasi saiz sasaran dilakukan. Bagi sesi fotografi, lampu pancaran (*flash*) yang terdapat dalam kamera digital digunakan dan tiada variasi pencahayaan digunakan. Oleh kerana perisian komersial digunakan dalam kajian ini untuk pemprosesan data dan analisis, pembangunan pengaturcaraan tidak dilakukan. Dalam kajian ini, hanya kamera digital kompak jenama Kodak yang mempunyai berbagai resolusi digunakan kerana diperingkat awal kajian hanya kamera-kamera digital kompak ini sahaja yang sedia ada di fakulti. Bagi perbandingan hasil kamera digital kompak Kodak dengan kamera digital SLR, sebuah kamera digital SLR resolusi tinggi telah digunakan dalam kajian ini.

1.7 Kandungan Tesis

Tesis ini terdiri daripada enam bab yang diringkaskan seperti berikut:

Bab pertama menerangkan pengenalan kepada kajian yang dijalankan, tujuan dan objektif kajian, pernyataan masalah, kepentingan kajian dan skop kajian.

Bab kedua adalah kajian literatur yang membincangkan mengenai penggunaan kamera digital dalam fotogrametri jarak dekat. Secara umum, didapati pada hari ini kamera digital telah digunakan secara meluas dalam aplikasi fotogrametri jarak dekat. Terdapat berbagai jenis dan resolusi kamera digital yang telah digunakan. Sebahagian besar kamera digital yang digunakan mempunyai resolusi yang tinggi dan kosnya juga mahal terutama dari jenis SLR. Penggunaan kamera digital kompak yang terdiri dari resolusi rendah ke resolusi tinggi perlu dikaji kerana sangat kurang kajian seumpama ini dilaporkan. Dalam bab ini juga, kaedah kalibrasi kamera digital diterangkan termasuklah persamaan matematik yang digunakan dan beberapa kaedah kalibrasi turut diuraikan.

Bab ketiga menerangkan tentang metodologi kajian. Secara umum, bab ini menerangkan mengenai kaedah yang digunakan untuk mendapatkan fotograf dengan menggunakan kamera digital, kaedah menentukan koordinat titik sasaran atau kawalan dan cara memproses imej digital yang diperolehi. Disamping itu perkakasan dan perisian yang terlibat diterangkan juga. Dalam bab ini penerangan mengenai setiap eksperimen yang terdiri daripada eksperimen medan ujian satah, eksperimen medan ujian tiga dimensi, eksperimen permukaan model, eksperimen anjakan dan eksperimen selinder diterangkan.

Bab keempat menunjukkan hasil bagi kelima-lima eksperimen yang dilakukan dalam kajian ini bagi kamera digital kompak. Hasil bagi kamera digital SLR yang digunakan dalam kelima-lima eksperimen turut ditunjukkan. Begitu juga hasil eksperimen medan ujian satah bagi kamera digital kompak dan SLR ditunjukkan.

Bab kelima membicarakan mengenai kaedah analisis yang dilakukan terhadap hasil yang diperolehi dari setiap eksperimen. Prestasi kamera digital kompak sesama mereka dibandingkan. Prestasi kamera digital kompak turut dibandingkan dengan prestasi kamera digital SLR. Disamping itu analisis dari aspek kejituan dan ketepatan dibincangkan juga.

Bab keenam pula adalah kesimpulan yang dibuat berdasarkan eksperimen-eksperimen yang telah dijalankan. Disamping itu beberapa cadangan untuk memperbaiki kajian ini dan kajian lanjutan dibincangkan dalam bab ini.