

## UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

**BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS**JUDUL : **PENILAIAN KERETAKAN PERMUKAAN JALANRAYA DENGAN****KAEDAH FOTOGRAMETRI DIGITAL JARAK DEKAT.**SESI PENGAJIAN : **2006 / 2007**Saya : **MD SALLEHUDDIN BIN CIK AZIZ****(HURUF BESAR)**

mengaku membenarkan tesis ( PSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Tesis adalah hak milik Universiti Teknologi Malaysia
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
6. **\*\*Sila tandakan (✓ )**

**SULIT** (Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

**TERHAD** (Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

**TIDAK TERHAD**

Disahkan oleh

(TANDATANGAN PENULIS)

(TANDATANGAN PENYELIA)

Alamat Tetap : **NO 3, JALAN LIKU 8/1****PM Dr MUSHAIRRY BIN MUSTAFFAR****SEKSYEN 8, 40000 SHAH ALAM**

(NAMA PENYELIA)

**SELANGOR DARUL EHSAN**Tarikh : **16 APRIL 2007**Tarikh : **16 APRIL 2007**

CATATAN : \* Potong yang tidak berkenaan.  
 \*\* Jika Tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT atau TERHAD.

- Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (PSM)

**PENILAIAN KERETAKAN PERMUKAAN JALANRAYA DENGAN  
KAEDAH FOTOGRAMETRI DIGITAL JARAK DEKAT**

**MD SALLEHUDDIN BIN CIK AZIZ**

**Laporan ini dikemukakan sebagai memenuhi  
sebahagian daripada syarat penganugerahan  
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Awam**

**Fakulti Kejuruteraan Awam  
Universiti Teknologi Malaysia**

**MAC, 2007**

**EVALUATION ON ROAD PAVEMENT USING DIGITAL CLOSE RANGE  
PHOTOGRAMMETRY FOCUSING ON CRACK**

**MD SALLEHUDDIN BIN CIK AZIZ**

**A report submitted in partial fulfillment of the  
requirements for the award of the degree of  
Bachelor of Civil Engineering**

**Fakulti Kejuruteraan Awam  
Universiti Teknologi Malaysia**

**MARCH, 2007**

**Kami akui bahawa kami telah membaca karya ini dan pada pandangan kami karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah sarjana Muda Kejuruteraan Awam**

**Tandatangan : .....**  
**Nama Penyelia I : Professor Madya Dr. Mushairry**  
**Mustaffar**  
**Tarikh : 16 APRIL 2007**

**Tandatangan : .....**  
**Nama Penyelia II : Dr. Othman Che Puan**  
**Tarikh : 16 APRIL 2007**

Saya akui karya ini yang bertajuk “*Penilaian Keretakan Permukaan Jalan Dengan Kaedah Fotogrametri Digital Jarak Dekat*” adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya

Tandatangan : .....  
Nama Penulis : MD SALLEHUDDIN BIN CIK AZIZ  
Tarikh : 16 APRIL 2007

*Kepada bonda dan ayahanda tercinta ...  
Hajjah Arifa Shain dan Haji Che Aziz Che Ismail*

*Yang disayangi...  
Mohd Najhan Che Aziz  
Mohd Yusof Che Aziz  
Nursurifaiza Che Aziz  
Nur Aliaa Hazwani Che Aziz*

*Teristimewa buat...  
Zaleha Saidan*

*Rakan-rakan senakhoda yang sentiasa memberikan sokongan...  
Kita telah berjaya mengatasi sungai-sungai yang deras bersama,  
Jangan lupa, masih ada lautan yang luas di hadapan...*

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah, bersyukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurnia-Nya laporan ini telah siap sepenuhnya. Saya ingin merakamkan penghargaan dan ucapan jutaan terima kasih ini kepada penyelia saya Profesor Madya Dr. Mushairry Mustaffar dan Dr. Othman Che Puan di atas segala bimbingan dan tunjuk ajar beliau sepanjang tempoh penyiapan Laporan Projek Sarjana Muda ini.

Tidak lupa juga ucapan setinggi-tinggi terima kasih kepada kakitangan Majlis Bandaraya Petaling Jaya yang banyak membantu dalam mendapatkan maklumat-maklumat yang diperlukan untuk projek ini. Kerjasama yang telah diberikan amatlah dihargai.

Penghargaan ini juga ditujukan kepada sahabat-sahabat yang sentiasa membantu dalam segala aspek dan juga pihak-pihak yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam membantu menjayakan kajian ini.

Terima kasih.

## **ABSTRAK**

Sistem rangkaian jalan raya adalah salah satu daripada kemudahan infrastruktur yang terpenting untuk merealisasikan matlamat pembangunan dan ekonomi negara. Oleh yang demikian, jalan raya sentiasa memerlukan pemerhatian dan pembaikpulihan dari masa ke semasa untuk mengekalkan prestasinya. Terdapat beberapa jenis cacat permukaan seperti keretakan, penampalan, berlubang dan aluran yang terjadi disebabkan oleh perubahan cuaca, kadar alir trafik yang tinggi dan juga bencana alam contohnya gempa bumi. Justeru itu, Jabatan Kerja Raya (JKR) selaku agensi kerajaan, akan memantau dan melakukan kerja-kerja pembaikpulihan. JKR menggunakan kaedah konvensional iaitu kaedah pemerhaian visual semasa menjalankan pemantauan. Perlaksanaan kaedah ini didapati perlahan dan juga tidak tepat, lantaran itu kajian ini adalah bertujuan untuk mencadangkan kaedah fotogrametri digital jarak dekat sebagai kaedah alternatif. Kelebihan kaedah ini ialah ia dapat memproses data-data yang banyak dalam masa yang singkat. Keputusan menunjukkan perbezaan di antara kedua-dua kaedah adalah kurang daripada 10%. Walaupun harga kos permulaannya agak tinggi, kaedah fotogrametri digital jarak dekat dapat memberi keputusan yang lebih tepat dan masih lagi menjimatkan secara keseluruhannya.

## **ABSTRACT**

Roads play an important role in the nation development. They provide means of transportation as well as communications. Therefore, road pavement needs to be maintained from time to time to achieve its purpose and contribute comfort to the users. There are several types of pavement distressed such as cracks, patching, potholes and rutting which are caused by weather changes, high traffic and also natural disaster such as earthquake. Hence, a very systematic road maintenance is needed to sustain the good quality of the road surface. These are carried out by the government's agency, Jabatan Kerja Raya (JKR) who uses conventional methods such as visual inspection to measure the condition of the road surface. This method can be seen as very slow and inaccurate. Thus, this study proposes the use of close range photogrammetry as an alternative to the conventional method. One of the advantages of this method is that it is able to handle a large amount of data which can be processed quickly with minimum of human's touch. Results have shown the differences between photogrammetry and conventional methods are less than 10%. Despite that the initial cost is high; the close range photogrammetry is still economic for long term usage because it will produce more reliable and efficient results than conventional method.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGAKUAN PENULIS</b>	<b>iv</b>
	<b>DEDIKASI</b>	<b>v</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	<b>vi</b>
	<b>ABSTRAK</b>	<b>vii</b>
	<b>ABSTRACT</b>	<b>viii</b>
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	<b>ix</b>
	<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>xiii</b>
	<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>xiv</b>
	<b>SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN</b>	<b>xvi</b>
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	<b>xvii</b>
<b>1</b>	<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Masalah Kajian	2
	1.3 Objektif Kajian	3
	1.4 Skop Kajian	3
	1.5 Hipotesis	4
	1.6 Had Kajian	4

<b>2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>5</b>
2.1	Pengenalan	5
2.2	Jenis-jenis Jalan	6
	2.2.1 Jalan Tanah	8
	2.2.2 Jalan Batu Kerikil	8
	2.2.3 Jalan Berbitumen	9
	2.2.4 Jalan Konkrit dan Turapan Blok Saling Mengunci	12
2.3	Jenis-jenis Keretakan Pada Permukaan Turapan Anjal	12
	2.3.1 Retak Melintang	13
	2.3.2 Retak Memanjang	13
	2.3.3 Retak Pinggir	14
	2.3.4 Retak Blok	14
	2.3.5 Retak Bulan Sabit	15
	2.3.6 Retak Buaya	16
2.4	Punca Keretakan	16
2.5	Pembaikpulihan dan Penyelenggaraan	18
	2.5.1 Penyelenggaraan Pencegahan	19
	2.5.2 Penyelenggaraan Pembaikan	20
2.6	Kaedah Penilaian Keretakan Ke Atas Permukaan Jalanraya	22
	2.6.1 Kaedah Teknologi Imej <i>CSIRO's RoadCrack</i>	22
	2.6.2 Kaedah Ramalan Menggunakan <i>Neural Network Models</i>	24
	2.6.3 Kaedah Visual	25
2.7	Fotogrametri	26
	2.7.1 Pengenalan	26
	2.7.2 Jenis Fotogrametri	27
	2.7.3 Fotogrametri Jarak Dekat	28

2.8	Teori Berkaitan Dengan Fotogrametri Jarak Dekat	28
2.8.1	Penjelmaan Keserupaan 3D	28
2.8.2	Penjelmaan Koordinat Mengikut Persamaan Kolineariti	29
2.9	Peralatan Fotogrametri Jarak Dekat	32
2.10	Fotogrametri Digital	34
2.11	Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat	36
<b>3</b>	<b>METODOLOGI</b>	<b>38</b>
3.1	Pengenalan	38
3.2	Penyediaan Am	40
3.2.1	Pemilihan Tapak Kajian	40
3.3	Kaedah Fotogrametri Jarak Dekat	40
3.3.1	Kalibrasi Kamera Digital	41
3.3.2	Perolehan Data di Tapak	42
3.3.3	Pemprosesan Data	43
3.4	Kaedah Visual	45
3.4.1	Penyediaan Am	45
3.4.2	Perolehan Data Di Tapak	45
<b>4</b>	<b>ANALISIS DATA DAN HASIL</b>	<b>48</b>
4.1	Pengenalan	48
4.2	Plotan 3D dan Penghasilan Imej Orthofoto Bagi Permukaan Jalan yang Mengalami Keretakan	48
4.3	Analisis Data	54
4.3.1	Perbandingan Berdasarkan Saiz Keretakan	55
4.3.2	Perbandingan Berdasarkan Masa	56
4.4	Pengelasan Permukaan Jalan yang Mengalami Keretakan Mengikut Panduan dan Amalan Majlis Bandaraya Petaling Jaya	56

<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>57</b>
	5.1 Kesimpulan	57
	5.2 Cadangan	59
	<b>RUJUKAN</b>	<b>60</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>63</b>

## SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
3.1	Hasil analisis kalibrasi kamera	42
4.1	Hasil analisis menggunakan Kaedah Fotogrametri	54
4.2	Hasil analisis menggunakan Kaedah Visual	54
4.3	Perbandingan saiz keretakan yang diperolehi daripada kaedah visual dan kaedah fotogrametri	55

## SENARAI RAJAH

RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Indeks kebolehhidmatan untuk jalan-jalan biasa	6
2.2	Komponen lapisan bagi jalan konkrit berasfal	10
2.3	Gambarajah retak melintang	13
2.4	Gambarajah retak memanjang	13
2.5	Gambarajah retak pinggir	14
2.6	Gambarajah retak blok	15
2.7	Gambarajah retak bulan sabit	15
2.8	Gambarajah retak buaya	16
2.9	(a) Imej digital permukaan jalan	23
	(b) Corak keretakan yang dikesan	23
	(c) Imej grafik keretakan mengikut jenis retak	23
2.10	Ilustrasi skematik prestasi model	24
2.11	Kolineariti (Methley, 1986)	30
2.12	Tanda am bagi putaran pada setiap paksi (Ogleby, <i>et.al</i> , 1985)	30
2.13	Kamera Metrik	33
2.14	Kamera Stereometrik	33
2.15	Pengubahan imej melalui proses persampelan dan pengkuantisian	35
3.1	Carta alir kajian	39
3.2	Kamera digital Nikon D70	41
3.3	Posisi kamera di sekeliling grid	42
3.4	Cara pengambilan imej	43
3.5	Carta alir proses menggunakan perisian <i>PhotoModeler Pro5</i>	44

3.6	Jalan Merbau di antara Blok M47 dan Blok M42, Kolej Tun Dr. Ismail	46
3.7	Jalan Merbau di antara kawasan letak kenderaan Fakulti Kejuruteraan Awam dan Blok L12, Kolej Tun Hussein Onn	46
3.8	Jalan Cengal hadapan Arked Meranti yang menghadap kawasan letak kenderaan Fakulti Alam Bina	47
4.1a	Kedudukan kamera bagi Sampel 1	49
4.1b	Imej orthofoto bagi Sampel 1	49
4.1c	Gambar foto bagi Sampel 1	50
4.2a	Kedudukan kamera bagi Sampel	50
4.2b	Imej orthofoto bagi Sampel 2	51
4.2c	Gambar foto bagi Sampel 2	51
4.3a	Kedudukan kamera bagi Sampel 3	52
4.3b	Imej orthofoto bagi Sampel 3	52
4.3c	Gambar foto bagi Sampel 3	53

## SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

AASHTO	-	<i>American Association For State Highway And Transport officials</i>
CCD	-	<i>Charge Couple Device</i>
<i>FHWA</i>	-	<i>Federal Highway Administration</i>
JKJR	-	Jawatankuasa Keselamatan Jalan Raya
JPEG	-	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
JKR	-	Jabatan Kerja Raya
UTM	-	Universiti Teknologi Malaysia
RTA	-	<i>Road and Traffic Authority</i>

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Ciri-ciri pemeriksaan visual terhadap keretakan permukaan turapan anjal serta pengukuran yang perlu dibuat untuk penilaian keretakan permukaan turapan seperti yang diamalkan oleh Majlis Bandaraya Petaling Jaya ( Cadangan oleh JKR Malaysia)	63
B	Spesifikasi Kamera Nikon D70	65
C	Koordinat X, dan Y Bagi Titik-titik Kawalan	68
D	Calibration Grid Yang Digunakan Semasa Mengkalibrasi Kamera	69

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Pengenalan**

Jalanraya adalah satu medium yang penting bagi manusia untuk berhubung. Dari pejalan kaki, kenderaan sekecil basikal hingga kenderaan sebesar lori menggunakan jalan untuk terus berhubung dengan tempat lain. Oleh yang demikian, permukaan jalan memerlukan pemuliharaan dan penyelenggaraan supaya dapat memberi keselesaan kepada penggunaannya. Kecacatan permukaan jalan seperti retakan, berlubang, tampalan dan lain-lain kecacatan adalah disebabkan faktor perubahan cuaca, trafik yang kian bertambah dan juga kesan daripada pergerakan yang berlaku di dalam bumi, contohnya gempa bumi. Sehubungan dengan itu, Jabatan Kerja Raya (JKR) membuat penilaian permukaan jalanraya dengan kerjasama agensi-agensi jalanraya yang lain untuk mengukur kebolehhidmatan jalanraya kepada pengguna (JKR, 1992). Disamping itu, tujuan utama pihak berkuasa tempatan menggunakan wang kutipan cukai ialah untuk menyediakan jalanraya yang selesa, selamat dan ekonomik sesuai dengan kehendak penduduk. Malangnya ia bukanlah satu tugas yang mudah kerana perlu mengambil kira keutamaan projek, dan membuat keputusan yang sukar dalam usaha memastikan semuanya berjalan lancar.

Kerja-kerja penilaian permukaan jalan seharusnya dilakukan sebaik sahaja kesan-kesan kerosakan pada jalan ditemui. Permukaan jalan yang cacat menyebabkan pemanduan yang tidak selamat. Apabila tahap perkhidmatan jalan menurun, kerja-kerja penyelenggaraan diperlukan untuk meningkatkan semula kebolehhidmatannya.

Terdapat beberapa kaedah konvensional seperti pemerhatian secara visual, 'Teknologi Imej *CSIRO's RoadCrack*' dan '*Neural Network Models*'. Kaedah ini merupakan kaedah perolehan data bagi membolehkan analisis penilaian permukaan jalanraya dilakukan.

Kajian ini mencadangkan satu kaedah alternatif dalam proses perolehan data, iaitu kaedah fotogrametri digital jarak dekat.

## **1.2 Masalah Kajian**

Kaedah konvensional yang disebutkan mengambil masa yang lama dan memerlukan tenaga kerja yang ramai. Apabila sesuatu kerja itu mengambil masa yang lama untuk disiapkan, kosnya akan bertambah secara langsung menjadikan ianya tidak ekonomik. Malahan, kejituan kaedah konvensional adalah diragui. Oleh yang demikian, kaedah fotogrametri jarak dekat yang dicadangkan mampu untuk mengatasi masalah yang disebutkan. Tidak dinafikan setiap kaedah itu mempunyai kelemahan dan had masing-masing. Justeru itu, kajian ini dilakukan untuk membandingkan kaedah konvensional dan kaedah alternatif yang dicadangkan.

### **1.3 Objektif Kajian**

Kajian yang dilakukan adalah bertujuan:-

- a) Menentukan tahap kerosakan permukaan jalan (pavement distressed) menggunakan kaedah fotogrammetri digital jarak dekat.
- b) Menilai kemampuan kaedah fotogrammetri dengan membuat perbandingan dengan kaedah konvensional, dari aspek:
  - i) Ketepatan dan Kejituan
  - ii) Praktikaliti dan masa

### **1.4 Skop Kajian**

Skop kajian merangkumi perkara-perkara tersebut:-

- a) Mengenalpasti spesifikasi yang digunakan bagi menentukan tahap kerosakan jalan di antara majlis-majlis tempatan.
- b) Mewujudkan satu sistem pengukuran yang boleh menghasilkan model 3D permukaan jalan yang dikaji.
- c) Membuat pengumpulan data dan analisis ke atas kerosakan permukaan jalan pada jalan berturap anjal. Kerosakan permukaan jalan yang diberi tumpuan adalah keretakan.
- d) Menilai kaedah konvensional untuk tujuan perbandingan hasil kajian dengan kaedah yang dicadangkan dengan memfokuskan pada kelebihan dan kelemahan fotogrametri digital jarak dekat.

## **1.5 Hipotesis**

Kaedah fotogrammetri digital jarak dekat adalah efektif, dan menjimatkan masa secara keseluruhannya berbanding dengan kaedah pemerhatian visual dan beberapa kaedah lain yang dibincangkan. Kaedah ini mampu menjadi kaedah alternatif dalam penilaian permukaan jalanraya.

## **1.6 Had Kajian**

Di dalam kajian ini, penilaian permukaan jalanraya hanya dilakukan pada permukaan berturap anjal sahaja kerana jenis jalan ini adalah digunakan dengan meluas di Malaysia. Kajian ini hanya menilai turapan anjal yang mengalami kecacatan permukaan jenis keretakan (*crack*) sahaja. Jalanraya yang dikaji adalah dalam keadaan kering supaya kerja pengambilan data tidak terganggu akibat daripada takungan air pada permukaan jalan.

## BAB II

### Kajian Literatur

#### 2.1 Pengenalan

Salah satu faktor yang menyumbang kepada kemantapan ekonomi dan pembangunan sesuatu kawasan ialah dengan adanya sistem jalanraya yang baik. Demi menyediakan kemudahan infrastruktur yang tinggi kosnya seperti jalanraya, Kerajaan Malaysia telah memperuntukkan sejumlah wang yang banyak untuk mencapai matlamat tersebut. Dengan kedudukan sebagai negara yang pesat membangun, banyak jalan-jalan baru yang akan dibina dan kerja penyelenggaraan bagi jalan-jalan yang sedia ada dipertingkatkan untuk menyediakan keselesaan kepada pengguna. Jalan-jalan yang dibina di kawasan baru akan dikaji terlebih dahulu tentang potensi perkembangannya supaya ia benar-benar dapat menarik minat pihak-pihak pelabur.

Oleh yang demikian, dapat dinyatakan terdapat beberapa konsep pembinaan dan rekabentuk jalan yang diperkenalkan pada Ujian Jalan *American Association For State Highway And Transport officials* (AASHTO) yang boleh dijadikan panduan, iaitu:

- i) Tujuan utama jalanraya direkabentuk adalah untuk keselesaan pengguna.  
Oleh itu, jalan yang baik adalah jalan yang lancar dan selamat.
- ii) Pengguna jalanraya memberi pandangan positif dan maklum balas bagaimana tahap keberkesanan sesebuah jalanraya.

- iii) Mendapatkan purata pendapat daripada sekumpulan pengguna jalanraya tentang kebolekhidmatan jalan.



Rajah 2.1: Indeks kebolekhidmatan untuk jalan-jalan biasa

Berdasarkan Ujian Jalan AASHTO, indeks kebolekhidmatan jalan boleh dikategorikan mengikut angka seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Indeks kebolekhidmatan jalan yang menunjukkan angka 1 merujuk kepada keadaan jalan yang sangat teruk dan memerlukan kerja-kerja pembaikan segera manakala angka 5 merujuk kepada keadaan jalan yang sangat baik di mana ia mungkin baru sahaja dibina atau dibaikpulih.

## 2.2 Jenis-jenis Jalan

Kajian sejarah telah membuktikan wujudnya teknik-teknik pembinaan jalan yang boleh dikatakan berteknologi mengikut peredaran zaman masing-masing. Penemuan roda di Samaria pada 3000 SM menunjukkan keperluan terhadap jalan mula berkembang. Antara jalan-jalan yang terawal di beberapa bahagian dunia ialah:

- i) Tamadun Mesopotamia  
Jalan batu-bata dan jalan berturap asfal telah ditemui di Bandar Babylon.
- ii) Tamadun Mesir  
Kebanyakan tujuan jalan dibina di Mesir adalah untuk pembinaan piramid.

iii) Empayar Roman

Empayar Roman telah menyaksikan kegemilangan pembinaan jalan yang terkenal. Sepanjang 5000km jalan telah dibina bermula dari Cadiz di pantai barat Sepanyol melalui Perancis, Jerman, Itali, Turki, Syria, Afrika dan kembali ke Tangeir membentuk satu pusingan.

iv) Empayar Parsi

Empayar Parsi yang terkenal dengan perdagangan mereka menggunakan jalan untuk import dan eksport sutera, tembikar dan barangan kayu antara China dan Eropah.

v) Tamadun China dan India

Laluan Sutera yang terawal dibina sekitar 2600 SM merupakan jalan perdagangan sutera dan gading antara China dan India. Di Lembah Indus pula jalan daripada batu-bata dengan sistem penyaliran permukaan berpaip yang sempurna telah dijumpai.

Dengan adanya sistem pengangkutan yang baik, maka wujudlah perkembangan ekonomi sama ada secara tempatan, mahupun antarabangsa. Selain itu, perhubungan yang menggunakan jalan sebagai medium perantaraan telah menyumbang kepada permindahan ilmu, agama dan budaya seperti yang telah terbukti dalam sejarah ketamadunan manusia.

Jalanraya boleh diklasifikasikan mengikut pelbagai kaedah. Namun begitu, untuk tujuan penyelenggaraan adalah paling efisien untuk mengelaskannya mengikut kepentingan dan isipadu lalu lintas (kategori jalan), jenis lapisan haus serta struktur turapan (OECD Road Research Group, 1978). Pengelasan ini adalah amat penting kerana isipadu lalu lintas dan kepentingannya dapat menentukan kos peruntukan untuk kerja-kerja penyelenggaraan di kemudian hari. Jenis lapisan haus pula dapat menentukan sifat-sifat permukaan turapan seperti kerataan, ketidakbolehtelapan dan rintangan kegelinciran. Dalam kajian penilaian permukaan jalan ini, adalah lebih relevan untuk mengklasifikasikan jalanraya mengikut struktur turapan.

Jenis-jenis jalan yang boleh ditemui di negara Malaysia adalah:

- i) Jalan tanah
- ii) Jalan batu kerikil
- iii) Jalan berbitumen
- iv) Jalan konkrit dan turapan blok saling mengunci

### **2.2.1 Jalan Tanah**

Jalan tanah ialah jalan yang menggunakan tanah semulajadi atau tanah tambak yang telah dipadatkan sebagai permukaan jalan. Bahan yang biasa yang digunakan adalah tanah jenis laterit. Jalan tanah digunakan untuk jalan yang mempunyai kapasiti lalulintas yang rendah dan biasanya dibina di kawasan pedalaman atau luar bandar di mana kenderaan ringan merupakan kenderaan utama yang melalui jalan tersebut.

### **2.2.2 Jalan Batu Kerikil**

Pembinaan jalan batu kerikil adalah sama dengan pembinaan untuk jalan tanah cuma ditambah satu lapisan batu kerikil yang kemudiannya dipadatkan. Hasilnya satu lapisan permukaan jalan yang boleh menampung beban kenderaan yang tinggi berbanding yang boleh ditanggung oleh jalan tanah. Jalan jenis ini langsung tidak memberikan keselesaan pemanduan kepada pengguna kerana permukaannya yang kasar menyebabkan perjalanan tidak begitu lancar. Perkara-perkara yang disebutkan menjadi faktor utama jalan batu kerikil dipilih sebagai jalan utama bagi kawasan tapak pembinaan kerana berupaya menanggung beban jentera berat dan juga tidak memerlukan keselesaan pemanduan.

### 2.2.3 Jalan Berbitumen

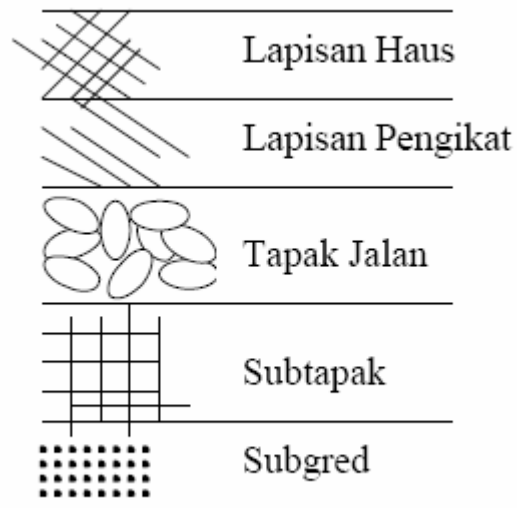
Jalan berbitumen boleh menanggung beban kenderaan yang tinggi berbanding jalan tanah dan jalan batu kelikir. Jalan jenis ini boleh dibahagikan kepada tiga (3) jenis, iaitu:

i) Dandanan permukaan

Dandanan permukaan (surface dressing) terbahagi kepada subgred, subtapak jalan dan tapak jalan. Tapak jalan dan subtapak jalan yang mengandungi batu baur dibina di atas subgred dan di atas permukaan tapak jalan disemur dengan satu lapisan bitumen. Di atas lapisan bitumen ditaburkan pula batu baur halus sebagai pelengkap (finishing) dan diratakan dengan menggunakan penggelek.

ii) Konkrit berasfal

Asfal (Asphalt) merupakan satu kombinasi mineral dan pengikat bitumen (tar) yang dihasilkan oleh pemprosesan kilang. Jalan konkrit berasfal juga dikenali sebagai turapan anjal merupakan jalan batu kerikil yang dihamparkan dan dipadatkan dalam satu bancuhan bitumen, batu baur kasar, batu baur halus dan pengisi. Bahan pengisi boleh terdiri daripada pelbagai bahan seperti simen Portland, serbuk batu, serbuk batu kapur dan juga gentian kayu. Bahan pengisi juga dapat meningkatkan kelikatan bitumen dan mengurangkan lelehan bancuhan. Pelbagai variasi dalam pemilihan penggunaan bahan tambah digunakan untuk merekabentuk sifat bancuhan yang dikehendaki seperti kekerasan, keelastikan, kelikatan dan juga yang kurang sensitif terhadap perubahan suhu. Pada suhu tertentu, campuran ini digaul dan kemudian dipadatkan untuk menghasilkan permukaan yang rata. Lapisan jalan konkrit berasfal mempunyai beberapa bahagian tertentu seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.2.



Rajah 2.2: Komponen lapisan bagi jalan konkrit berasfal

Subgred adalah lapisan yang paling bawah sekali dalam struktur jalan dan berfungsi menanggung beban yang ditanggung oleh turapan di atasnya. Subgred boleh terdiri daripada tanah tambakan atau tanah semulajadi. Ianya perlu dipadatkan terlebih dahulu dan dibentuk untuk mendapatkan aras yang sesuai melalui penambakan atau pemotongan semasa aktiviti kerja tanah. Tanah yang lemah dan lembab serta mengandungi bahan organik yang berlebihan adalah tidak sesuai dijadikan sebagai lapisan subgred kerana ia akan mengganggu kerja pemadatan tanah.

Lapisan subtapak merupakan lapisan yang membantu pengagihan beban di bawah lapisan tapak jalan. Subtapak boleh dibina daripada bahan berbutir untuk bertindak sebagai lapisan penyaliran. Selain itu, ia juga berperanan menghalang penyusupan bahan subgred ke dalam turapan, dan juga sebagai pelantar untuk membina lapisan lain di atasnya. Bahan-bahan yang biasa digunakan untuk membina lapisan subgred ialah batu kerikil semulajadi, batu kerikil berpasir atau gabungan batu kerikil bersama tanah liat berpasir.

Tapak jalan merupakan lapisan utama dalam struktur jalan konkrit berasfal ini. Fungsi utama lapisan ini adalah untuk mengurangi tegasan mampatan pugak ke atas subtapak dan subgred akibat beban terus daripada kenderaan. Tapak jalan biasanya terdiri daripada batu baur hancur 50mm sehingga ke saiz debu (crusher run) yang mempunyai bahan pengikat yang berbeza.

Antara lapisan pengikat ialah seperti Macadam Kering (Dry Bound Macadam), Macadam Campuran Basah (Wet Mix Macadam), Tapak Jalan Macadam Berbitumen (Bituminous Macadam Roadbase), Terstabil Simen (Cement Stabilised) dan komposit (Che Ros Ismail, *et.al*, 1999). Lapisan pengikat menyediakan satu lapisan permukaan yang rata bagi lapisan haus di samping berfungsi sebagai pengagih beban daripada lapisan haus ke tapak jalan. Lapisan yang paling atas sekali ialah lapisan haus yang berfungsi sebagai pelindung kepada lapisan bawah, sifat kalis air, rintangan kegelinciran, tanggungan beban lalulintas secara langsung dan juga memberi keselesaan pemanduan.

### iii) Turapan berliang

Turapan berliang adalah evolusi daripada turapan anjal di mana lapisan hausnya mempunyai liang-liang. Tujuan liang-liang ini adalah untuk membolehkan air permukaan mengalir masuk ke dalam dan mengalir di atas lapisan pengikat. Perkara ini boleh dilakukan dengan menjadikannya lebih porous iaitu dengan menggunakan batu baur yang lebih besar, lebihkan penggunaan bitumen serta mengurangkan jumlah pasir dalam bancuhan lapisan haus. Pembinaan turapan berliang banyak kebaikannya iaitu lebih kuat, pemanduan yang lebih senyap, rintangan terhadap aluran dan rintangan kegelinciran yang tinggi. Keselamatan pengguna pun akan lebih terjamin kerana silauan lampu pada waktu malam serta air yang bertakung dipermukaan tatkala hujan lebat dapat dikurangkan. Keburukan turapan berliang adalah kosnya yang mahal untuk pembinaan dan penyelenggaraanya.

#### **2.2.4 Jalan Konkrit dan Turapan Blok Saling Mengunci**

Jalan konkrit boleh menanggung beban kenderaan yang sangat tinggi berbanding jalan-jalan yang lain. Dengan penggunaan tetulang didalamnya menjadikan jalan ini sangat kuat tetapi kos pembinaannya menjadi lebih mahal (Che Ros Ismail, *et.al* 1999). Turapan blok saling mengunci (*interlocking*) merupakan jalan yang dibina menggunakan blok tanah liat. Jalan ini banyak digunakan pada bahagian simpang, selekoh, kawasan perhentian bas, dan juga untuk tujuan dekoratif seperti di bandaraya Melaka.

### **2.3 Jenis-jenis Keretakan Pada Permukaan Turapan Anjal**

Dalam kajian ini, jenis kerosakan yang difokuskan adalah jenis retak. Terdapat pelbagai jenis retak yang terjadi pada permukaan jalan yang boleh melemahkan turapan. Apabila permukaan jalan itu retak, ia akan menyediakan satu bukaan untuk membolehkan air meresap masuk dan menyebabkan kerosakan yang lebih kritikal pada lapisan dalam. Kerosakan yang dialami pada lapisan dalam akhirnya akan menyebabkan sesuatu jalan itu hilang keupayaan untuk menanggung beban lalu lintas.

Retakan boleh dibahagikan kepada enam (6) jenis, iaitu retak melintang (*transverse*), retak memanjang (*longitudinal*), retak pinggir (*edge*), retak blok (*block*), retak bulan sabit (*crescent*), dan retak buaya (*crocodile*). Penyelesaian yang paling mudah untuk mengatasi masalah retak adalah dengan menampal permukaan jalan yang mengalami keretakan itu. Tetapi terdapat juga keburukan jika ia tidak dilakukan dengan betul dan hanya terhad pada kes-kes tertentu sahaja. Kajian dan penilitian yang lebih perlu dilakukan untuk mengetahui punca-punca yang mengakibatkan keretakan supaya kerja-kerja pembaikpulihan yang sempurna dapat dilakukan ( *The Asphalt Institute, 1983*). Setiap jenis retakan mempunyai kriteria dan punca-puncanya tersendiri yang akan dinyatakan nanti.

### 2.3.1 Retak Melintang

Retak melintang (*transverse*) (Rajah 2.3) berlaku pada arah melintang dan hampir-hampir bersudut tepat dengan garis tengah turapan.



Rajah 2.3: Gambarajah retak melintang

### 2.3.2 Retak Memanjang

Retak memanjang (*longitudinal*) (Rajah 2.4) terjadi selari dengan permukaan jalan. Biasanya terjadi di sambungan antara dua lapisan asphalt yang bersebelahan atau di pinggir laluan tayar dan sepanjang aluran. Retak memanjang boleh membenarkan kemasukan air ke lapisan bawah jalan dan menyebabkan tanah subgred menjadi lemah.



Rajah 2.4: Gambarajah retak memanjang

### 2.3.3 Retak Pinggir

Retak pinggir (*edge*) (Rajah 2.5) dapat digambarkan dengan bentuk bulan sabit atau lebih dikenali dengan retak yang bersambung, selari dan biasanya berukuran antara 300mm hingga 600mm kepada turapan pinggir. Retak pinggir ini biasanya terdapat pada turapan jalan yang tidak mempunyai bahu jalan yang berturap.



Rajah 2.5: Gambarajah retak pinggir

### 2.3.4 Retak Blok

Retak blok (*block*) (Rajah 2.6) berlaku pada kedua-dua arah iaitu arah melintang dan juga arah memanjang. Retak blok membentuk retakan siri blok segiempat berukuran lebih kurang 300 hingga 3000mm. Keretakan ini akan menjadi lebih serius jika ia mula menunjukkan tanda-tanda agregat akan tercabut keluar dari permukaan jalan.



Rajah 2.6: Gambarajah retak blok

### 2.3.5 Retak Bulan Sabit

Retak bulan sabit (*crescent*) (Rajah 2.7) berlaku pada arah yang sama dengan laluan trafik. Lokasi yang sering terbentuk retak bulan sabit adalah di kawasan pemberhentian dan permulaan kenderaan bergerak.



Rajah 2.7: Gambarajah retak bulan sabit

### 2.3.6 Retak Buaya

Retak buaya (*crocodile*) (Rajah 2.8) adalah sambungan yang membentuk jaringan berbilang sisi bersaiz antara 100mm ke 300mm. Retak buaya boleh menjadi punca kepada pembentukan lubang apabila bahan-bahan lapisan asphalt terkeluar daripada lapisan bersama agregat.



Rajah 2.8: Gambarajah retak buaya

## 2.4 Punca Keretakan

Air merupakan elemen pemusnah utama kepada jalan. Air boleh meresap masuk ke dalam bukaan yang wujud pada permukaan jalan dan menanggalkan pengikat bitumen yang mengikat batu baur dan mengurangkan kekuatan bahan tersebut. Jika di negara yang mengalami musim sejuk, air yang meresap masuk ke lapisan dalam akan membeku dan menyebabkan lapisan jalan mengembang. Lapisan dalam yang mengembang, akan menyebabkan kerosakan terhadap bahan-bahan yang terdapat dalam lapisan tersebut seterusnya menjadikan ikatan antara bahan-bahan tercabut.

Jika terdapat air yang terperangkap di dalam lapisan-lapisan jalan, beban daripada kenderaan akan memberikan tekanan terhadap air tersebut dan ini akan menghasilkan tekanan hidraulik di dalam air. Tekanan hidraulik yang terjadi ini akan memaksa air untuk mencari ruang untuk keluar daripada lapisan dalam dan seterusnya mewujudkan bukaan (retak) terhadap permukaan jalan.

Air yang melepasi permukaan jalan sama ada jalan berbitumen atau jalan konkrit, akan melemahkan tapak jalan, subtapak dan subgred seterusnya menggagalkan struktur jalan tersebut. Apabila perkara ini berlaku, ia sudah dianggap kritikal dan memerlukan operasi pembaikpulihan dengan segera.

Punca-punca lain yang boleh menyebabkan keretakan adalah seperti lekukan dan pengecutan pada permukaan jalan. Lekukan berlaku akibat ketidakstabilan bahan yang terdapat dalam subgred yang disebabkan oleh ketepuan yang melampau pada bahagian subgred. Suhu panas dan lembap sepanjang tahun di Malaysia telah menyumbang kepada pengecutan permukaan jalan. Pengecutan permukaan berlaku disebabkan oleh perubahan suhu yang ketara yang mengakibatkan retakan berlaku.

Umur bahan juga boleh diambil kira sebagai faktor yang mengakibatkan keretakan. Apabila umur lesu permukaan sesuatu jalan telah dilampaui, kerapuhan semakin ketara dan keretakan boleh berlaku. Pembinaan jalan yang tidak dilakukan

dengan baik juga boleh mengakibatkan keretakan pada permukaan jalan. Bahan-bahan organik yang tertanam di dalam struktur jalan, contohnya sampah sarap, pokok, kayu, tumbuhan kecil, dan plastik akan mengganggu ikatan bitumen dan menyebabkan kekuatan jalan tidak mencapai tahap yang telah direkabentuk.

Bahan-bahan organik yang boleh terurai pula akan meninggalkan lompong di dalam struktur jalan menyebabkan berlakunya pengenapan. Beban daripada kenderaan akan menekan permukaan jalan dan lama-kelamaan permukaan jalan akan terenap dan berlaku keretakan.

## **2.5 Pembaikpulihan dan Penyelenggaraan**

AASHTO telah mendefinisikan penyelenggaraan sebagai satu program pemeliharaan dan memperbaiki sistem jalan raya dengan mereka bentuk elemen baru atau mengekalkan elemen sediaada.

Objektif utama penyelenggaraan jalan adalah untuk menjaga dan memelihara jalan agar sentiasa dalam keadaan baik, tahan lama dan memberikan keselesaan kepada pengguna. Selain daripada itu juga dengan adanya penyelenggaraan ini ia dapat mengurangkan kemasukan air ke dalam struktur jalan melalui retakan dan mengelakkan kerosakan daripada berlaku pada permukaan jalan itu sendiri. Penyelenggaraan jalanraya merupakan satu tindakan untuk memastikan bahawa keadaan jalanraya serta elemen-elemen yang terdapat di sekitarnya sentiasa berada dalam keadaan sepertimana ia dibina. Secara praktikalnya penyelenggaraan adalah bertujuan untuk membaiki keadaan dan operasi jalanraya supaya ianya selamat, selesa dan ekonomi untuk digunakan.

Terdapat pelbagai kaedah penyelenggaraan yang boleh dilakukan untuk mengekalkan keadaan jalan sepertimana ia dibina pada asalnya, namun penyelenggaraan yang dilakukan juga bergantung kepada jenis kerosakan yang

berlaku. Ketahanan sesuatu lapisan jalan itu dipengaruhi oleh beberapa faktor iaitu jenis kerosakan, tempoh reka bentuk dan kualiti penyelenggaraan yang dilakukan.

Penyelenggaraan secara berkala dapat melambatkan proses kemerosotan jalan akibat kesan trafik dan persekitaran. Kelewatan dalam melakukan penyelenggaraan akan menambah dan mempercepatkan proses kerosakan dan kemerosotan jalan. Secara amnya, aktiviti penyelenggaraan terbahagi kepada dua kategori iaitu:

- i) Penyelenggaraan pencegahan
- ii) Penyelenggaraan pembaikan

### **2.5.1 Penyelenggaraan Pencegahan**

Penyelenggaraan pencegahan bertujuan untuk mengelakkan, mengurangkan dan melindungi jalan daripada menjadi rosak. Penyelenggaraan ini lebih kepada kerja-kerja menutup keretakan dan menutup permukaan jalan dengan bitumen atau asfalt. Penyelenggaraan ini lebih kepada penggunaan kaedah kedap permukaan di mana ia melibatkan penggunaan campuran asfalt, agregat dan bahan emulsi. Kedap permukaan biasanya digunakan untuk:

- i) Mengembalikan ketahanan jalan terhadap gelinciran
- ii) Mengelakkan air masuk ke dalam struktur jalan melalui retakan
- iii) Melambatkan proses penyepaian agregat akibat kesan cuaca

Terdapat dua (2) jenis kedap permukaan yang biasa digunakan untuk merawat keretakan iaitu:

- i) Kedap kabus (*fog seals*)

Kedap kabus adalah satu kaedah penambahan asfalt ke atas permukaan turapan sediaada untuk membaiki kedapan atau menghalang kemasukan air. Ia berfungsi sebagai salah satu kaedah pencegahan untuk mengelakkan kehilangan agregat daripada turapan atau dengan kata lain untuk

memperbaiki dan mengelakkan kemunculan agregat di permukaan. *The Asphalt Institute* pula menggunakan kedap kabus ini untuk menutup retakan yang kecil.

ii) Kedap buburan (*slurry seals*)

Penyenggaraan jenis ini berbeza dengan kaedah lain kerana ia tidak melibatkan kerja-kerja penyemburan bitumen atau agregat ke atas permukaan jalan sebaliknya ia memasukkan cairan bitumen emulsi yang telah dicairkan ke dalam ruang retakan jalan. Ini bertujuan untuk mengelakkan air terus masuk ke dalam permukaan jalan dan akan melemahkan struktur jalan tersebut. Kedap buburan terdiri daripada campuran bahan emulsi, agregat, bahan pengisi, air dan bahan tambah yang lain. Campuran tersebut akan dicampurkan di dalam mesin yang dikenali sebagai mesin penurap buburan (*slurry surfacing machine*).

### 2.5.2 Penyelenggaraan Pembaikan

Penyenggaraan pembaikan adalah salah satu cara untuk membaiki kegagalan yang berlaku samada pada permukaan atau struktur jalan. Walau bagaimanapun ia bergantung kepada jenis-jenis kerosakan yang dialami. Kerja-kerja yang dilakukan untuk memulihkan keretakan ialah:

i) Penstoran semula

Proses ini adalah merupakan proses di mana permukaan jalan yang rosak dikembalikan ke bentuk asalnya dengan menggunakan beberapa kaedah yang biasa digunakan iaitu:

a) Pembalikmuda (*rejuvenating*)

Dijalankan dengan menyemburkan satu lapisan nipis bitumen atau bitumen terubahsuai polimer ke atas permukaan berbitumen yang telah mengalami penuaan.

- b) Penutup retak (*crack sealing*)  
Merupakan kaedah yang murah jika dibandingkan dengan kaedah-kaedah penstoran semula yang lain. Tujuan utama penutupan retak adalah untuk menghalang air daripada terus masuk ke lapisan turapan seterusnya akan merosakkan struktur turapan.
- c) Potong dan tampal (*cut and patch*)  
Teknik ini dilaksanakan apabila bahagian permukaan asfalt yang telah rosak akan dipotong, dikeluarkan dan digantikan dengan bahan asfalt yang baru. Terdapat dua jenis bahan berbitumen yang biasa digunakan untuk kerja-kerja tampalan iaitu campuran panas asfalt dan campuran sejuk asfalt.
- d) Tindihan nipis berbitumen (*thin bituminous overlay*)  
Kaedah ini adalah untuk memperbaiki keadaan permukaan, dan merupakan kaedah penstoran semula yang rendah kosnya.

ii) Penurapan semula  
Penurapan semula adalah kaedah yang popular di Malaysia. Dengan pembinaan yang baik, ia dapat menjadikan lapisan tersebut lebih kukuh, menampung beban kenderaan yang lebih dan meningkatkan kualiti pemanduan kerana keadaannya adalah hampir serupa seperti memandu di jalan yang baru.

iii) Pembinaan semula  
Kaedah ini digunakan apabila jalan terdahulunya mengalami kerosakan yang amat teruk dan kemungkinan akan rugi jika diselenggara. Turapan ini dibina dengan menggunakan bahan-bahan baru dan spesifikasi pembinaan yang baru. Terdapat dua jenis pembinaan semula iaitu:

- a) Pembinaan semula sepenuhnya – ia diperlukan apabila lapisan subgrad telah mengalami kegagalan

- b) Pembinaan semula separa – ia diperlukan apabila terdapat kerosakan pada lapisan tapak jalan.

## **2.6 Kaedah Penilaian Keretakan Ke Atas Permukaan Jalanraya**

Secara amnya, agensi-agensi jalanraya akan membiarkan kualiti pemanduan dan keadaan struktur jalan itu memburuk (*deteriorate*) pada sesuatu keadaan dan masa tertentu sebelum ianya diambil tindakan untuk pemulihan. Tujuan pemulihan adalah untuk membaiki kerosakan struktur dan mengembalikan keselesaan pemanduan. Antara kaedah konvensional yang digunakan untuk menilai permukaan jalanraya adalah Teknologi Imej *CSIRO's RoadCrack*, kaedah ramalan menggunakan *Neural Network Models* dan kaedah visual.

### **2.6.1 Kaedah Teknologi Imej *CSIRO's RoadCrack***

Teknologi Imej *CSIRO's RoadCrack* adalah sistem yang pertama di dunia yang berjaya memperolehi standard *Road and Traffic Authority* (RTA) di Australia berkenaan dengan aplikasi automatik, objektif dan ketepatan sistem pengesanan keretakannya.

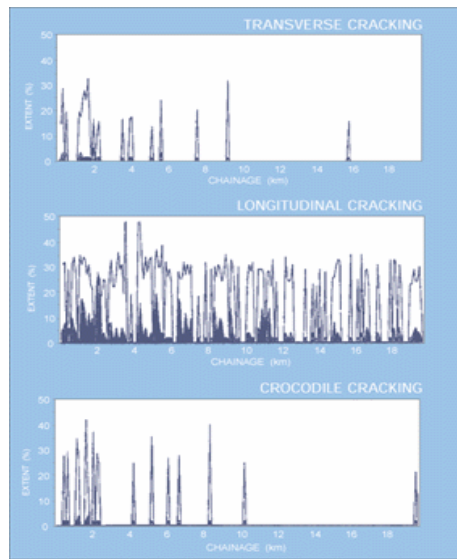
Teknologi Imej *CSIRO's RoadCrack* adalah teknologi yang sangat maju hingga boleh mengesan keretakan yang sebesar 1 milimeter lebarnya. *CSIRO* telah membangunkan teknologi *RoadCrack*, menggunakan kamera dan alat pemrosesan imej yang dapat mengesan dan melaporkan keretakan pada permukaan jalan dengan tepat. *CSIRO* telah menggunakan kamera berkelajuan tinggi yang ditempatkan di bawah kenderaan yang bergerak unuk mengambil imej permukaan jalan tersebut. Satu sistem pembalikan cahaya yang khas digunakan untuk memantulkan cahaya ke permukaan jalan supaya dapat mengesan keretakan yang wujud. Imej keretakan yang dapat dikesan adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.9;



(a)



(b)



(c)

Rajah 2.9: (a) Imej digital permukaan jalan, (b) Corak keretakan yang dikesan  
(c) Imej grafik keretakan mengikut jenis retak

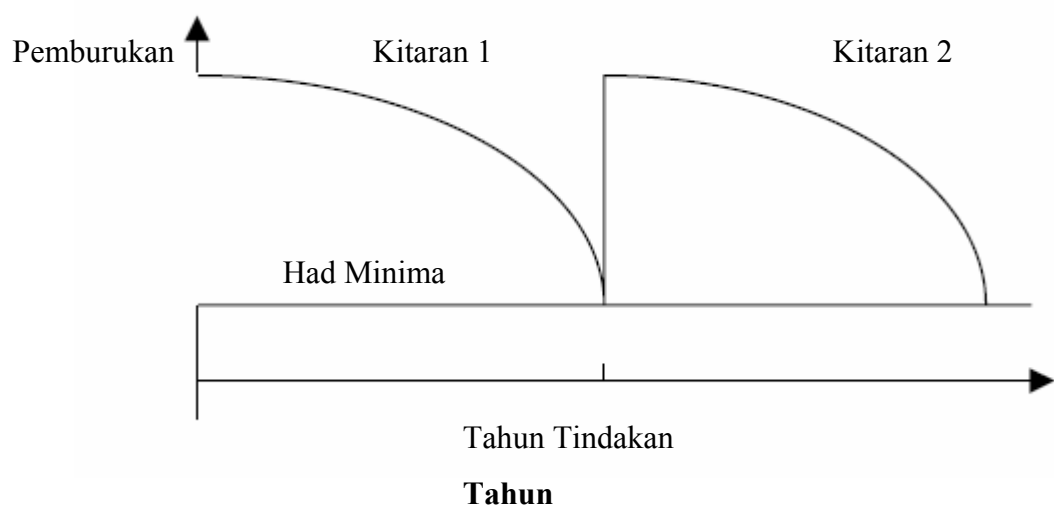
## 2.6.2 Kaedah Ramalan Menggunakan *Neural Network Models*

Perkembangan model ramalan untuk prestasi jalan semakin diterima sejak beberapa dekad yang lalu. Tujuan utama permodelan adalah untuk mengenalpasti keperluan pemulihan dan prestasi permukaan jalan pada masa hadapan. Terdapat dua (2) aspek yang diambil kira untuk membuat model iaitu:

- i) Prestasi semasa jalanraya- diperolehi melalui pemeriksaan tapak
- ii) Prestasi masa hadapan jalanraya- diperolehi daripada keburukan model

Rajah 2.10 menunjukkan ilustrasi skematik tentang bagaimana ramalan kerosakan permukaan dilakukan. Pengetahuan tentang prestasi permukaan jalan itu membolehkan beberapa perkara iaitu:

- i) Dapat mengetahui tempoh hayat prestasi jalan itu sebelum ia mengalami kegagalan.
- ii) Dapat mengetahui pembiayaan yang diperlukan untuk mengekalkan prestasi jalan pada tahap yang dibenarkan.
- iii) Dapat mengetahui bajet untuk projek pemulihan tahunan.



Rajah 2.10: Ilustrasi skematik prestasi model

### 2.6.3 Kaedah Visual

Kaedah visual merupakan kaedah yang paling popular digunakan kerana hanya memerlukan pemerhatian terhadap permukaan jalan menggunakan mata kasar. Pengumpulan data dan maklumat dilakukan secara manual dan tidak memerlukan sebarang teknologi yang tinggi. Kaedah visual ini boleh digunakan untuk mengenalpasti pelbagai jenis kerosakan pada permukaan jalan seperti retakan, ubah bentuk permukaan, dan lain-lain kecacatan permukaan.

Menurut Majlis Bandaraya Petaling Jaya, kaedah penilaian permukaan jalan boleh dibahagikan kepada dua (2) iaitu:

- i) Rutin  
Pemerhatian rutin akan dijalankan setiap 4 hingga 5 tahun ke atas permukaan jalan mengikut jenis jalan, beban trafik, dan lokasi yang telah ditetapkan.
- ii) Aduan  
Berdasarkan aduan daripada penduduk setempat yang mengesan kerosakan yang berlaku. Biasanya aduan yang diterima menunjukkan jangka hayat permukaan jalan tersebut telah gagal lebih awal daripada jangkaan.

## 2.7 Fotogrametri

### 2.7.1 Pengenalan

Pada tahun 1851, Aime Laussedat, seorang pegawai Perancis dikatakan sebagai orang yang telah memulakan penggunaan alat fotogramteri dan kaedah-kaedahnya. Dalam tahun 1858, seorang arkitek Jerman, A. Meydenbauer telah membangunkan teknik fotogramteri untuk dokumentasi bangunan dan telah menubuhkan institut fotogramteri yang pertama pada tahun 1885 yang dikenali sebagai *Royal Prussian Photogrammetric Institute*. Pada tahun 1909, Dr. Carl Pulfrich, seorang bangsa Jerman telah memajukan penggunaan fotogramteri untuk pemetaan dengan mengambil pasangan stereofoto (Abdul Hamid Mohd Tahir, 1990). Kemudian pada tahun 1980an, penggunaan fotogramteri digital semakin berkembang selaras dengan kemajuan komputer yang telah menjadi perkara penting pada masa itu.

Fotogrametri adalah satu teknik mengukur objek 2D atau 3D tanpa menyentuh objek tersebut. Ia adalah penyimpanan imej secara elektronik ke dalam kamera atau video kamera. Antara hasil yang boleh diperolehi daripada penangkapan imej adalah:

- i) Koordinat titik bagi sesuatu objek
- ii) Peta topografi
- iii) Orthofoto

Fotogrametri juga merupakan satu teknik penyelesaian masalah dengan mengumpul data dan maklumat melalui pengukuran secara fotograf (Methley, 1986). Sesetengah orang menggunakan terma *remote sensing* sebagai ganti fotogrametri. *Remote sensing* lebih berkaitan dengan fotogrametri udara dan pengambilan imej menggunakan satelit.

### 2.7.2 Jenis Fotogrametri

Fotogrametri boleh dibahagikan kepada tiga (3) jenis iaitu:

i) Fotogrametri udara

Imej sesuatu kawasan yang diambil dari udara menggunakan kamera yang dipasang kapal terbang semasa penerbangan dilakukan. Kegunaan utamanya adalah untuk menyediakan peta topografi, peta planimetri, mosek dan *photo maps*. Kaedah ini boleh menghasilkan dua jenis fotograf iaitu fotograf tegak (*vertical photograph*) dan fotograf condong (*tilted photograph*).

ii) Fotogrametri angkasa

Kamera dipasangkan pada satelit untuk mengambil gambar bumi dari angkasa. Imej yang terhasil dapat digunakan untuk tujuan kaji cuaca. Ia juga digunakan untuk mendapatkan maklumat mengenai objek-objek, kawasan dan fenomena melalui analisis data yang diperolehi dari penderiaan jauh dengan alat-alat seperti kamera multispektural dan penderia inframerah.

iii) Fotogrametri bumi

Kaedah pengambilan imej oleh kamera yang berada pada sesuatu kawasan tetap yang berada di atas bumi. Kamera tersebut berkedudukan pada paksi ufuk dengan menggunakan kamera metrik. Ia boleh dibahagikan kepada tiga jenis iaitu fotogrametri jarak dekat, makrofotogrametri untuk jarak yang dekat, dan mikrofotogrametri untuk imej yang diambil melalui mikroskop.

### 2.7.3 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri jarak dekat merupakan jenis fotogrametri bumi. Jarak di antara objek yang diambil dan kamera yang digunakan dihadkan kepada jarak maksimum sejauh 300 meter (Bannister, *et.al*, 1992). Kaedah ini telah digunapakai dalam bidang kejuruteraan awam setelah sekian lama. Dalam bidang geoteknik, penggunaannya adalah seperti pemantauan kerja-kerja geologi pada permukaan yang tegak dan kestabilan cerun. Dalam bidang hidrologi pula, penggunaannya adalah untuk mengkaji pengaruh turbulen di dalam sesuatu terusan untuk kawalan banjir. Penggunaannya dalam bidang jalanraya adalah seperti yang sedang dikaji sekarang iaitu analisis terhadap permukaan jalan.

## 2.8 Teori Berkaitan Dengan Fotogrametri Jarak Dekat

### 2.8.1 Penjelmaan Keserupaan 3D

Transformasi sistem koordinat primer iaitu (X, Y, Z) dan sistem koordinat sekunder iaitu (x, y, z) dalam penjelmaan persamaan telah menghasilkan sistem matrik berikut:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda^{-1} \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{21} & \gamma_{31} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} & \gamma_{32} \\ \gamma_{13} & \gamma_{23} & \gamma_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \dots(2.1)$$

Daripada matriks di sebelah, diperolehi;

$$X = X_0 + \lambda^{-1}R^t x \quad \dots(2.2)$$

atau

$$x = \lambda R(X - X_0) \quad \dots(2.3)$$

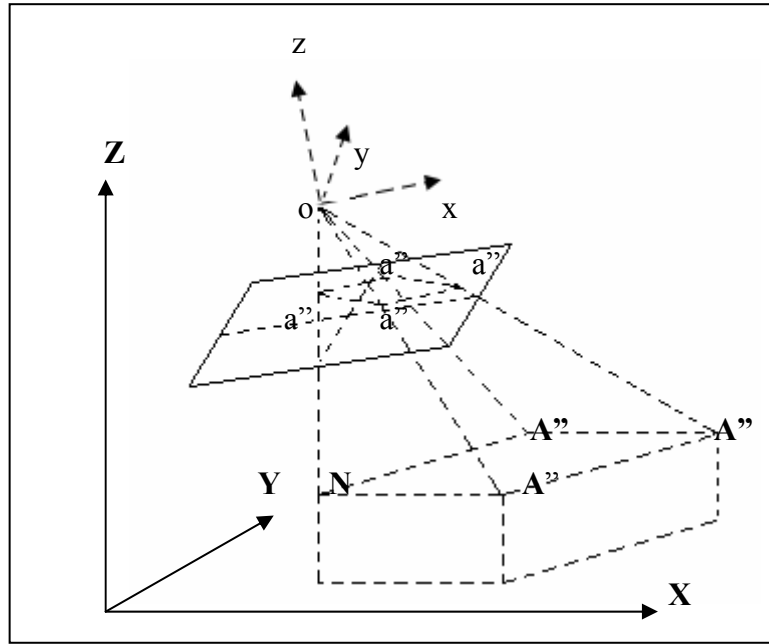
Transformasi ini dikenali sebagai penjelamaan keserupaan kerana ia tidak melibatkan perubahan bentuk objek tetapi hanya perubahan kedudukan relatif dan saiz objek dan mempunyai tujuh parameter iaitu:

- i) Tiga parameter bagi sudut putaran ( $\omega, \phi, k$ )
- ii) Tiga parameter penterjemahan ( $X_0, Y_0, Z_0$ )
- iii) Satu parameter penskalaan ( $\lambda$ )

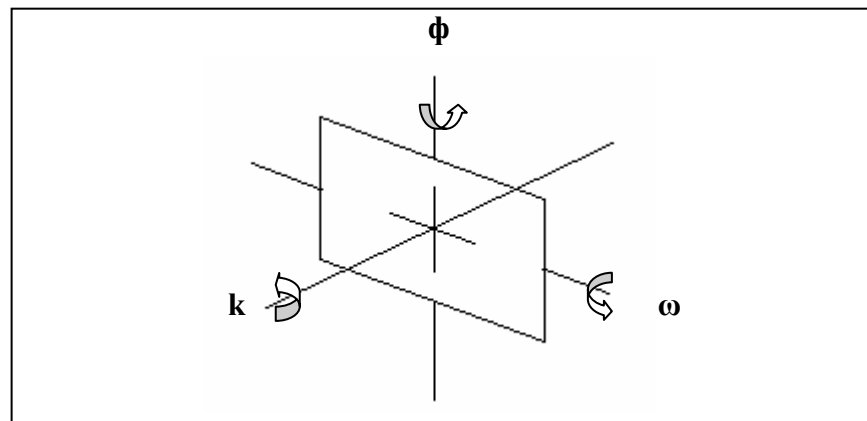
### 2.8.2 Penjelmaan Koordinat Mengikut Persamaan Kolineariti

Persamaan Kolineariti adalah sangat sesuai dalam penentuan koordinat menggunakan fotogrametri jarak dekat. Ia menggambarkan hubungan di antara titik koordinat imej yang diukur pada fotograf dengan titik koordinat imej yang sama pada sistem objek tersebut (Methley, 1986). Projekatif pusat perspektif (*central perspective projection*) adalah model yang biasa digunakan.

Syarat kolineariti menyatakan bahawa titik objek hendaklah berada di atas satu garis lurus bersama dengan pusat perspektif dan imej objek yang sepadan. Merujuk Rajah 2.11, titik O, a dan A hendaklah kolinear. O ialah pusat perspektif yang berkoordinat ( $X_0, Y_0, Z_0$ ), manakala titik koordinat objek ialah ( $X_A, Y_A, Z_A$ ). Rajah 2.12 pula menunjukkan tanda am bagi putaran pada setiap paksi.



Rajah 2.11: Kolineariti (Methley, 1986)



Rajah 2.12: Tanda am bagi putaran pada setiap paksi (Ogleby, *et.al*, 1985)

Projektiviti pada A melalui O akan menghasilkan titik koordinat untuk a iaitu  $(x_a, y_a, -c)$ . Titik A dan titik a merupakan titik *homologous*. Oleh itu,

$$X_A = X_0 + (-\mu)R^t x_a$$

...(2.4)

Dalam bentuk matriks:

$$\begin{pmatrix} X_a \\ Y_a \\ -c \end{pmatrix} = \mu^{-1} \begin{pmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{21} & \gamma_{31} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} & \gamma_{32} \\ \gamma_{13} & \gamma_{23} & \gamma_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_A - X_0 \\ Y_A - Y_0 \\ Z_A - Z_0 \end{pmatrix} \quad \dots(2.5)$$

Dengan mengembangkan matriks ini, persamaan kolineariti boleh ditulis seperti berikut:

$$x_a = \frac{-c[\gamma_{11}(X_A - X_0) + \gamma_{12}(Y_A - Y_0) + \gamma_{13}(Z_A - Z_0)]}{[\gamma_{31}(X_A - X_0) + \gamma_{32}(Y_A - Y_0) + \gamma_{33}(Z_A - Z_0)]} \quad \dots(2.6)$$

$$y_a = \frac{-c[\gamma_{21}(X_A - X_0) + \gamma_{22}(Y_A - Y_0) + \gamma_{23}(Z_A - Z_0)]}{[\gamma_{31}(X_A - X_0) + \gamma_{32}(Y_A - Y_0) + \gamma_{33}(Z_A - Z_0)]} \quad \dots(2.7)$$

di mana:	$\gamma_{11}$	=	$\cos\phi \cos k$
	$\gamma_{12}$	=	$\sin\omega \sin\phi \cos k + \cos\omega \sin k$
	$\gamma_{13}$	=	$-\cos\omega \sin\phi \cos k + \sin\omega \sin k$
	$\gamma_{21}$	=	$-\cos\phi \sin k$
	$\gamma_{22}$	=	$-\sin\omega \sin\phi \sin k + \cos\omega \cos k$
	$\gamma_{23}$	=	$\cos\omega \sin\phi \sin k + \sin\omega \cos k$
	$\gamma_{31}$	=	$\sin\phi$
	$\gamma_{32}$	=	$-\sin\omega \cos\phi$

$\gamma_{33}$	=	$\cos\omega \cos\phi$
$c$	=	jarak fokus kamera
$\gamma_{ij}$	=	unsur matriks putaran
$X_A, Y_A, Z_A$	=	koordinat objek
$X_L, Y_L, Z_L$	=	koordinat pusat perspektif (kamera)
$\omega, \phi, k$	=	sudut putaran (pusat perspektif)

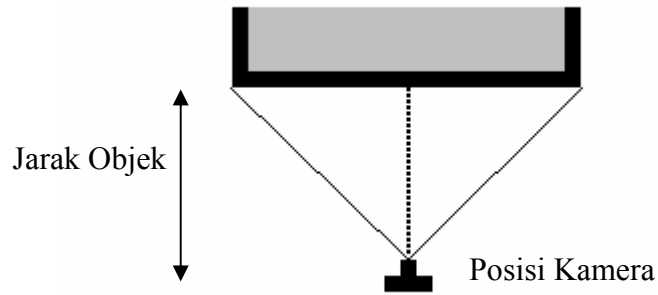
Diketahui bahawa terdapat enam parameter yang penting sebagai anu iaitu  $\omega, \phi, k, X_0, Y_0,$  dan  $Z_0$  yang merupakan parameter luaran (*exterior parameters*).

## 2.9 Peralatan Fotogrametri Jarak Dekat

Imej fotografi ialah imej perspektif pertengahan iaitu setiap cahaya akan melalui satu titik di permukaan filem semasa pendedahan. Untuk pengukuran objek daripada fotograf, gabungan sinar perlu dibaiki semula. Oleh itu, geometri dalaman kamera yang digunakan seperti titik prinsipal dan distorsi lensanya perlu diketahui secara tepat. Peralatan fotogrametri dibahagikan kepada tiga (3) kategori iaitu:

### i) Kamera Metrik

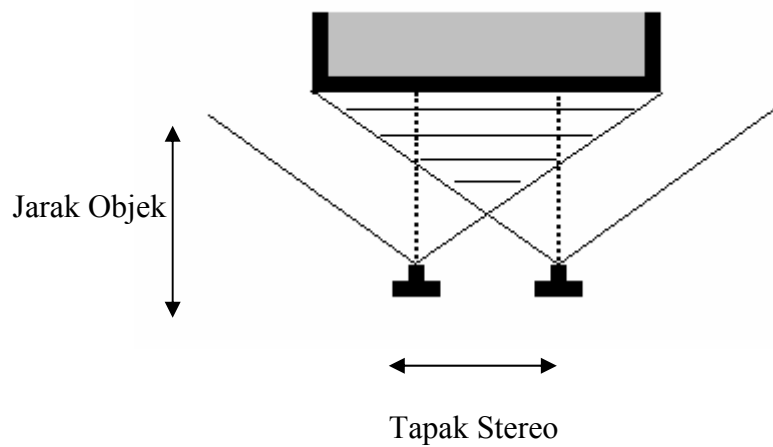
Mempunyai geometri dalaman yang stabil dan tepat dan distorsi lensanya sangat rendah. Jarak prinsipalnya adalah tetap dan tidak boleh difokuskan ketika mengambil gambar. Oleh yang demikian, kamera metrik digunakan untuk jarak objek dan kamera yang terhad (lihat Rajah 2.13). Sistem koordinasi imejnya dinyatakan oleh empat titik kawalan (*fiducial marks*) yang terdapat pada bingkai kamera. Kamera *Terrestrial* pula boleh digabungkan dengan tripod dan teodolit. Kamera metrik udara yang dibina untuk kapal terbang biasanya menghala  $90^\circ$  terus ke bawah.



Rajah 2.13: Kamera Metrik

ii) Kamera Stereometrik

Imej ditangkap menggunakan dua kamera dari posisi yang berlainan dan garisan tengah di antara dua kamera dipanggil tapak stereo (lihat Rajah 2.14). Menurut prinsip stereografik, sepasang imej stereo boleh menghasilkan kesan pembentukan kembali 3D (*3D restitution*) (Pierre Grussenmeyer, *et.al*, 1997) di mana ianya sama dengan ciri-ciri retina mata manusia. Kamera stereometrik terdiri daripada dua kamera metrik yang mempunyai ciri geometrik yang sama.



Rajah 2.14: Kamera Stereometrik

iii) Kamera Amatur

Kamera amatur ialah kamera biasa yang terdapat di pasaran di mana geometri dalamannya tidak stabil dan tidak diketahui. Sistem koordinasi imejnya sama dengan kamera metrik iaitu dinyatakan oleh empat titik kawalan (*fiducial marks*) yang terdapat pada bingkai kamera tetapi prestasi kamera amatur ini tidak akan mencapai tahap yang sama dengan kamera metrik dan kegunaannya juga tidak memerlukan ketepatan yang tinggi. Kebaikannya adalah mudah untuk di bawa ke mana-mana dan sangat sesuai untuk kegunaan kecemasan yang memerlukan pengambilan fotograf.

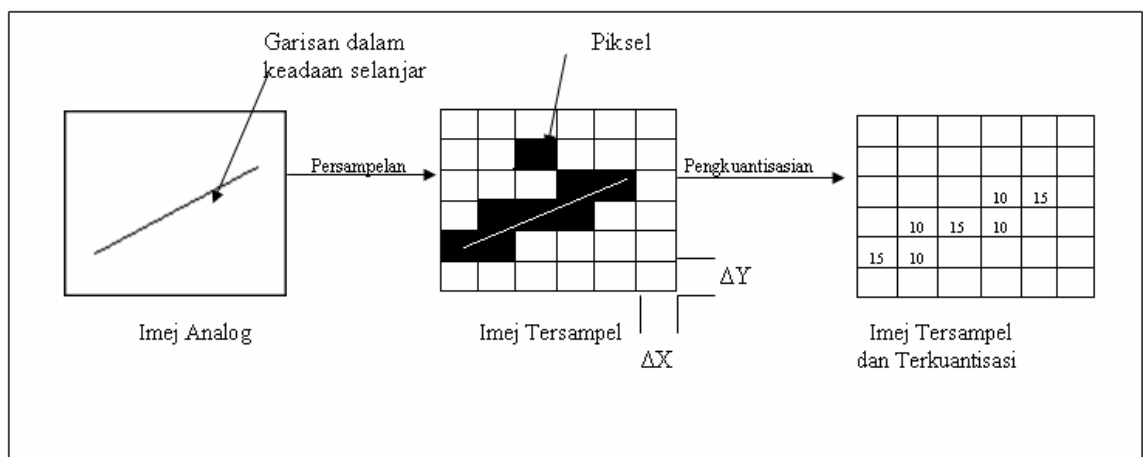
## 2.10 Fotogrametri Digital

Dahulu, penggunaan fotogrametri terhad kepada penghasilan imej fotograf sahaja tetapi kini hasil daripada kajian-kajian yang dijalankan telah mengubah pameran imej fotograf kepada imaj digital yang lebih tepat. Penstoran imej digital tidak menggunakan filem tetapi menggunakan pita atau cakera padat dan dari situ terlahirlah fotogrametri digital. Asas kepada fotogrametri digital adalah berdasarkan kepada pemprosesan imej berdigit dan menggunakan sistem grid untuk mewakili imej berdigit. Setiap elemen imej telah dikenalpasti kedudukan dan nilai keamatannya iaitu hanya satu untuk imej hitam putih dan beberapa nilai untuk imej yang berwarna (Baxes, 1994). Hasilnya boleh dipaparkan di dalam skrin komputer dan dipaparkan secara stereoskopik. Dengan menggunakan fotogrametri digital jarak dekat, pemprosesan imej berdigit dapat memudahkan kerja-kerja pengukuran justeru itu, pengukuran dapat dilakukan dengan sistematik dan menjimatkan masa.

Proses untuk mendapatkan data imej dalam bentuk tiga dimensi daripada dua dimensi memerlukan penggunaan teknik fotogrametri. Untuk membentuk imej tersebut, ia mesti dibahagikan kepada titik-titik individu yang pelbagai keterangan yang digambarkan dengan nilai data digital. Proses untuk menentukan nilai keterangan digital bagi setiap titik dikenali sebagai proses persampelan dan kuantisasi. Persampelan merupakan satu proses penjelmaan imej analog ke imej digital. Proses kuantisasi ialah proses menentukan nilai keterangan digital setiap

sampel, dari hitam ke putih. Suatu sampel yang sudah dikuantisasi dikenali sebagai piksel kerana ia mewakili satu elemen digital yang diskrit.

Gabungan kedua-dua proses ini dikenali sebagai pendigitalan imej (Rajah 2.15). Imej digital terdiri daripada susunan segiempat piksel yang dibahagikan kepada dua iaitu koordinat-x (mendatar) dan koordinat-y (menegak). Kualiti sesuatu imej digital itu bergantung pada resolusi imejnya di mana memerlukan lebih banyak bilangan piksel dan berada dalam julat nilai keterangan.



Rajah 2.15: Pengubahan imej melalui proses persampelan dan pengkuantisasian

Imej yang dihasilkan oleh fotogrametri digital mampu memberikan suatu hasil kerja yang cukup meyakinkan malahan jauh lebih murah berbanding dengan imej fotograf. Permintaan yang tinggi di pasaran telah menyebabkan pengeluarannya menjadi luas lalu merendahkan kosnya.

Fotogrametri digital merupakan aplikasi imej digital yang diambil menggunakan kamera digital mahupun kamera biasa yang didigitkan. Penggunaan imej digital masih merupakan sesuatu yang agak baru dalam fotogrametri kerana masih banyak lagi yang boleh diterokai. Penggunaannya tidak terhad dalam bidang pengukuran tanah sahaja malah boleh diaplikasikan dalam pelbagai bidang yang lain seperti kejuruteraan, sains, perubatan dan banyak lagi.

## 2.11 Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat

Perkembangan teknologi sains yang begitu cepat telah menghasilkan peralatan yang moden, perisian komputer yang efektif serta kamera digital yang dapat mengembangkan bidang fotogrametri jarak dekat ke arah yang lebih jauh dan meluas. Dalam bidang kejuruteraan awam sahaja, fotogrametri telah menyumbang banyak perkara untuk kajian yang memerlukan kejituan dalam semakan, persampelan dan sebagainya.

Kaedah fotogrametri jarak dekat juga boleh digunakan untuk menilai struktur permukaan jalan. Dengan menggunakan fotogrametri jarak dekat, pemprosesan imej digital untuk kajian permukaan jalan dapat dilakukan dengan kadar yang cepat (Tillotson, *et.al* 1992). Kajiannya telah menghasilkan suatu kaedah penilaian permukaan jalan dalam bentuk imej digital yang menggunakan *Distributed Array of Processors*.

Terdapat banyak aplikasi fotogrametri jarak dekat yang digunakan dalam kejuruteraan awam, contohnya:

- i) Geoteknik  
Mengkaji dan menghasilkan profil permukaan cerun.
- ii) Perlombongan  
Mengukur profil terowong dan kekar dalam batu.
- iii) Struktur  
Mengkaji perubahan bentuk pada struktur binaan.
- iv) Hidraulik  
Menentukan aras permukaan air dan ketinggian ombak.

v) Jalanraya

Mengukur profil permukaan jalanraya seperti keretakan dan ubahbentuk permukaan.

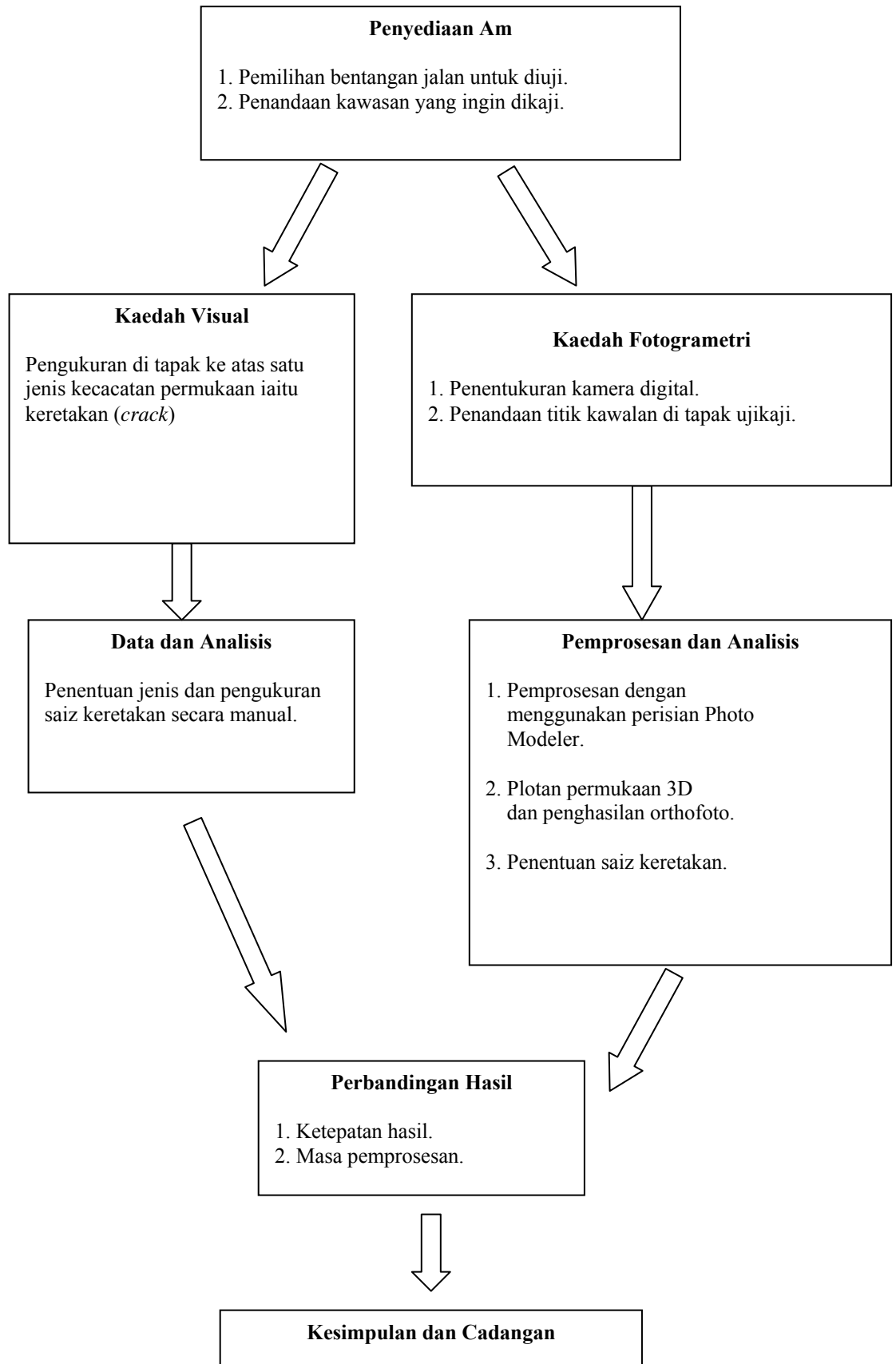
Di dalam kajian ini, penggunaan kaedah fotogrametri jarak dekat dipraktikkan dalam penilaian permukaan jalan berturap anjal. Keretakan akan menjadi fokus yang utama dalam mengukur profil permukaan jalanraya.

## **BAB III**

### **Metodologi**

#### **3.1 Pengenalan**

Dalam kajian ini, dua kaedah yang akan digunakan bagi menilai permukaan jalanraya ialah kaedah fotogrametri digital jarak dekat serta kaedah visual. Kaedah visual digunakan sebagai kaedah kawalan manakala kaedah fotogrametri jarak dekat merupakan kaedah alternatifnya. Cara kerja yang dilakukan meliputi penentuan tapak kajian, kaedah perolehan data menerusi kaedah visual dan kaedah fotogrametri, pemprosesan data menggunakan perisian dan penghasilan gambar orthofoto. Perbandingan hasil kajian akan dibuat di antara kedua-dua kaedah tersebut dan melalui perbandingan ini, komen serta kesimpulan akan dibuat. Sekiranya kaedah alternatif menunjukkan kelemahan, cadangan untuk mengatasi masalah tersebut akan diberi. Ringkasan daripada carta kerja ini ditunjukkan dalam Rajah 3.1.



Rajah 3.1: Carta alir kajian

## **3.2 Penyediaan Am**

Persediaan am perlu dilakukan sebelum sebarang kerja pengukuran dilakukan. Persediaan sangat penting dan perlu dilakukan dengan rapi agar kerja-kerja seterusnya dapat dijaankan tanpa sebarang halangan. Persediaan yang dilakukan ialah pemilihan tapak kajian.

### **3.2.1 Pemilihan Tapak Kajian**

Tapak kajian yang dipilih adalah di sekitar kampus Universiti Teknologi Malaysia. Kriteria utama yang diambil kira untuk pemilihan jalan mestilah berkaitan dengan kajian. Tapak yang dipilih untuk kajian ialah jalan-jalan yang mengalami keretakan yang ketara. Selain itu, faktor kapasiti lalulintas jalan tersebut perlu di ambil kira kerana jalanraya yang sibuk akan mengundang kepada bahaya malah akan menyulitkan lagi kerja-kerja di tapak kelak.

## **3.3 Kaedah Fotogrametri Jarak Dekat**

Di dalam kajian ini, kalibrasi kamera digital dan penentuan titik-titik kawalan (Lampiran C) perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum kerja-kerja penambilan gambar dan pengukuran dijalankan.

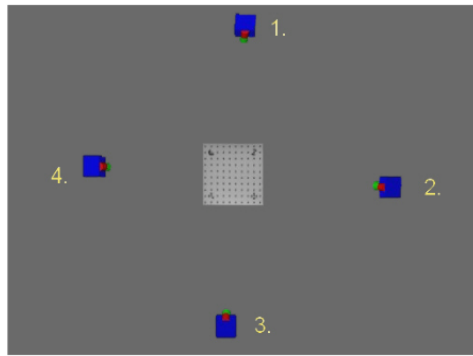
### 3.3.1 Kalibrasi Kamera Digital

Sebuah kamera bukan metrik iaitu kamera digital yang berjenama Nikon, model D70 (Rajah 3.2) akan digunakan di dalam kajian ini. Kamera ini perlu dikalibrasi terlebih dahulu ke dalam perisian *PhotoModeler Pro5* sebelum analisis data dilakukan. Kaedah untuk mengkalibrasi kamera adalah seperti berikut:

- 1) Tentukan jenis kamera dan jarak fokus kamera yang akan digunakan dalam perisian *PhotoModeler Pro5*.
- 2) Tentukan saiz dan jenis *Calibration Grid* yang hendak digunakan.
- 3) Kemudian imej keempat-empat posisi di sekeliling grid diambil (Rajah 3.3) dan fail gambar tersebut akan dimasukkan ke dalam perisian untuk tujuan proses kalibrasi.
- 4) Setelah selesai, perisian *PhotoModeler Pro5* akan memberikan nilai elemen yang perlu untuk kalibrasi kamera tersebut (Jadual 3.1).
- 5) Fail tersebut disimpan sebagai '*Calibrated Camera*' untuk digunakan apabila menganalisis data kelak.



Rajah 3.2: Kamera digital Nikon D70



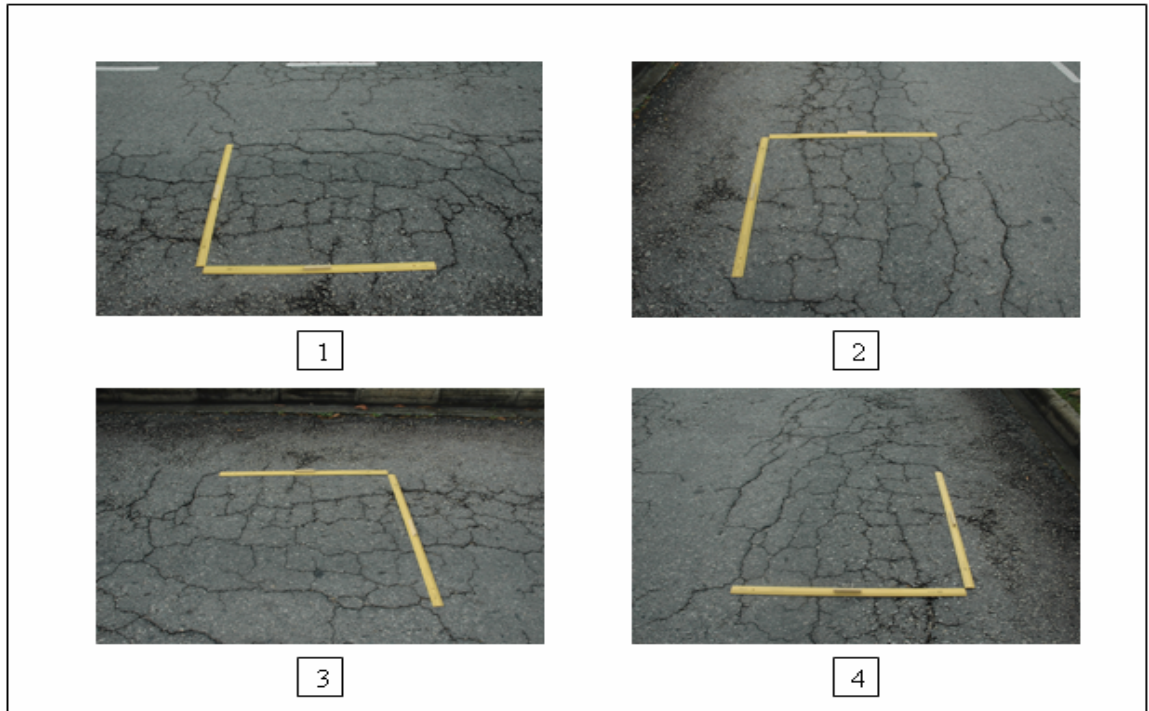
Rajah 3.3: Posisi kamera di sekeliling grid

Jadual 3.1: Hasil analisis kalibrasi kamera

Nama Kamera	NIKON D70		
Jarak Fokus	17.7674 mm		
Saiz Format	W: 23.8631 mm	H:	15.9110 mm
Titik Prinsipal	X: 12.4041 mm	Y:	8.0178 mm
Imej yang dihasilkan oleh kamera	3008 pixel by 2000 pixel		

### 3.3.2 Perolehan Data di Tapak

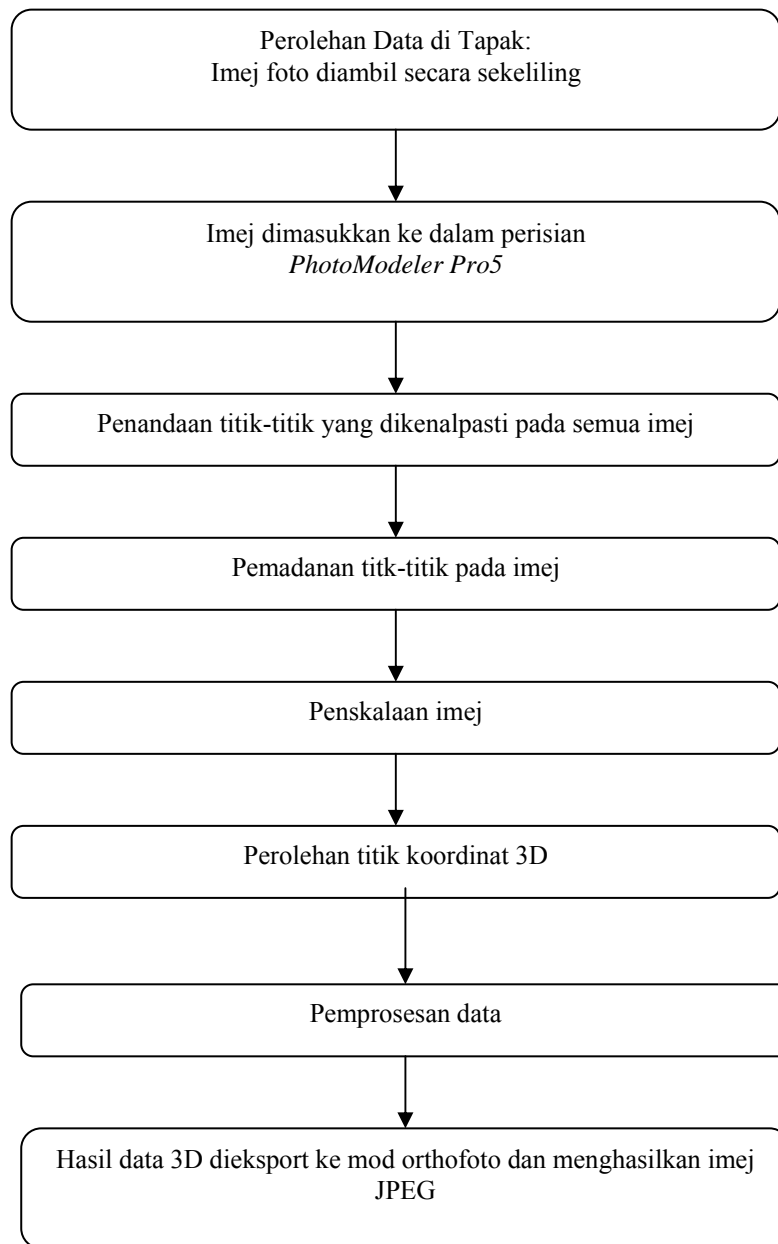
Perolehan data di tapak adalah lebih mudah dengan pengambilan imej keretakan yang diletakkan rangka untuk dijadikan titik-titik kawalan. Pengambilan imej di tapak perlu dilakukan dengan teliti supaya imej yang akan dihasilkan sepadan dengan keadaan keretakan sebenar. Tangan perlulah statik supaya imej yang diambil jelas untuk penentuan titik. Cara pengambilan imej seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.4. Imej diambil secara menyeluruh iaitu di sekeliling imej dengan menggunakan satu kamera digital sahaja.



Rajah 3.4: Cara pengambilan imej

### 3.3.3 Pemprosesan Data

Data-data imej keretakan akan diproses dengan perisian *PhotoModeler Pro5*. Perisian ini dapat mengekstrak ukuran dan menjana model 3D daripada imej yang diambil menggunakan kamera. *PhotoModeler Pro5* digunakan dengan memaparkan imej pada skrin komputer. Kemudian tandakan butiran-butiran yang dikehendaki pada setiap imej gambar. Perisian akan menggabungkan gambarfoto tersebut dan penandaan tadi akan menghasilkan titik, garis atau poligon dalam ruang 3D. Satu model 3D yang terhasil boleh dipindahkan menjadi imej gambar *orthofoto* dan boleh disimpan sebagai imej *JPEG*. Secara ringkasnya, proses penghasilan suatu model menggunakan *PhotoModeler Pro5* dapat dirumuskan dalam carta alir proses pada Rajah 3.5.



Rajah 3.5: Carta alir proses menggunakan perisian *PhotoModeler Pro5*

### **3.4 Kaedah Visual**

Kaedah visual yang akan digunakan adalah berdasarkan cadangan daripada Majlis Bandaraya Petaling Jaya. Pengukuran menggunakan kaedah visual terhadap bentuk keretakan permukaan jalan akan dijalankan setelah pengukuran menggunakan fotogrametri jarak dekat.

#### **3.4.1 Penyediaan Am**

Alat pengukuran yang diperlukan semasa pengukuran di tapak adalah seperti berikut:

- a) pembaris meter
- b) pembaris biasa (15cm)
- c) kamera

Pembaris meter yang digunakan ialah untuk membuat rangka supaya permukaan yang retak berada di dalam titik kawalan.

#### **3.4.2 Perolehan Data Di Tapak**

Berdasarkan maklumat daripada Majlis Bandaraya Petaling Jaya, penggunaan kaedah visual adalah bertujuan untuk menentukan saiz keretakan, dan melalui saiz yang diperolehi, jenis-jenis keretakan dapat dikenalpasti.

Tiga sampel keretakan permukaan jalan dikaji iaitu Jalan Merbau di antara Blok M47 dan Blok M42, Kolej Tun Dr. Ismail (Rajah 3.6), Jalan Merbau di antara kawasan letak kenderaan Fakulti Kejuruteraan Awam dan Blok L12, Kolej Tun Hussein Onn (Rajah 3.7) dan Jalan Cengal hadapan Arked Meranti yang menghadap kawasan letak kenderaan Fakulti Alam Bina (Rajah 3.8).



Rajah 3.6: Jalan Merbau di antara Blok M47 dan Blok M42, Kolej Tun Dr. Ismail



Rajah 3.7: Jalan Merbau di antara kawasan letak kenderaan Fakulti Kejuruteraan Awam dan Blok L12, Kolej Tun Hussein Onn



Rajah 3.8: Jalan Cengal hadapan Arked Meranti yang menghadap kawasan letak kenderaan Fakulti Alam Bina

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN HASIL**

#### **4.1 Pengenalan**

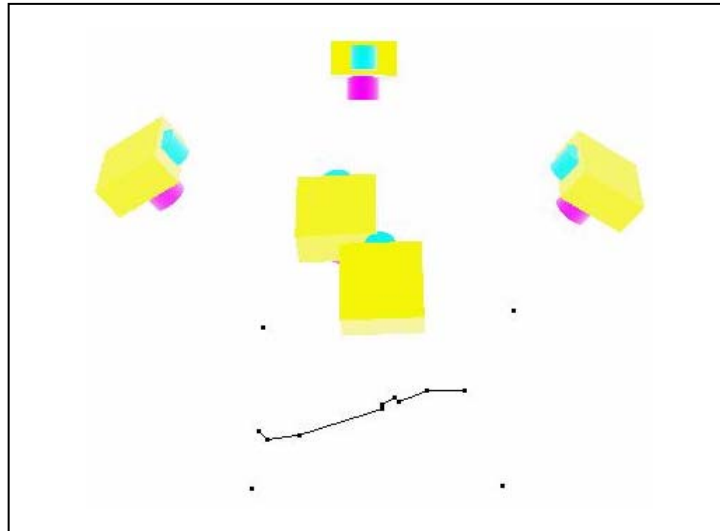
Koordinat 3D yang telah terhasil melalui penggunaan kaedah fotogrametri akan diproses dan membentuk plotan permukaan jalan yang dikaji. Hasil plotan ini akan dibandingkan dengan kaedah alternatif iaitu kaedah visual dari segi berikut:

- i) Panjang salah satu segmen keretakan dengan kaedah visual.
- ii) Panjang salah satu segmen keretakan dengan kaedah fotogrametri yang dilakukan penskalaan.
- iii) Masa yang diperlukan untuk memperolehi data daripada kedua-dua kaedah dan juga masa pemprosesan data.

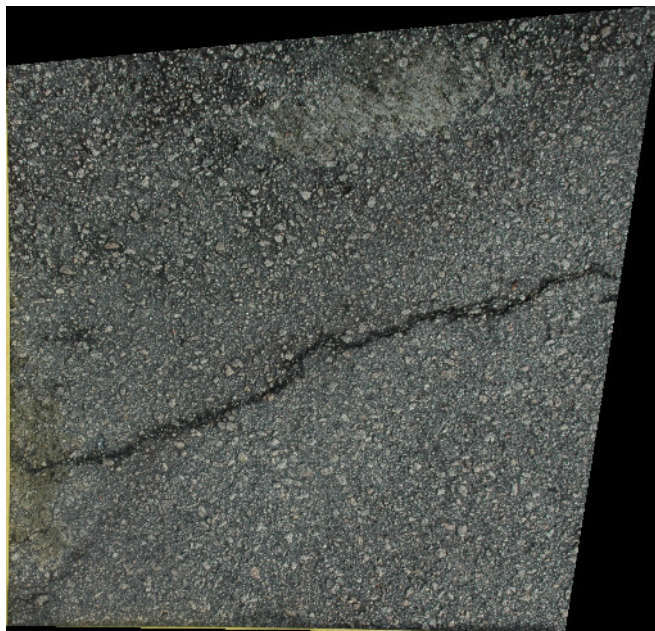
#### **4.2 Plotan 3D dan Penghasilan Imej Orthofoto Bagi Permukaan Jalan yang Mengalami Keretakan**

Hasil plotan 3D adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.1a di mana kedudukan kamera dapat dikenalpasti semasa pengambilan imej. Rajah 4.1b menunjukkan imej orthofoto yang telah terhasil selepas diproses dan disimpan sebagai imej JPEG. Rajah 4.1c menunjukkan permukaan jalan yang mengalami keretakan hasil pengamatan daripada kaedah visual.

Seterusnya, Rajah 4.2a, Rajah 4.2b, dan Rajah 4.2c, serta Rajah 4.3a, Rajah 4.3b, dan Rajah 4.3c masing-masing merupakan sampel berlainan mengikut kaedah penilaian seperti yang dinyatakan terdahulu. Plotan yang terhasil menunjukkan imej keretakan dengan jelas dan mudah untuk penilaian.



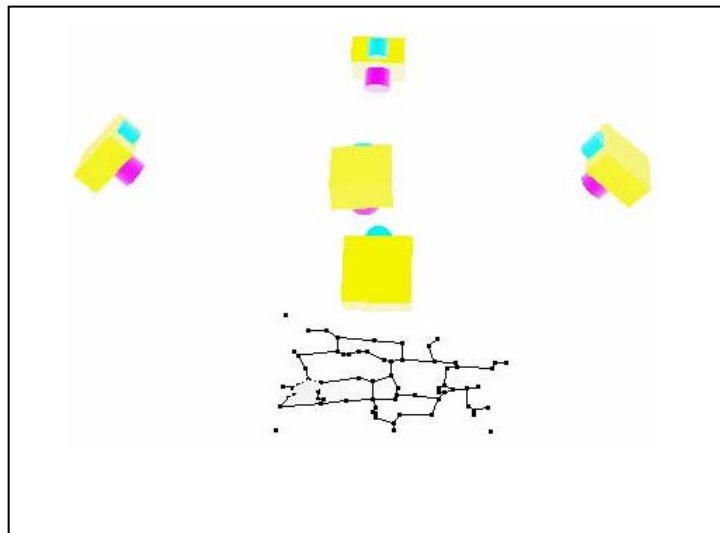
Rajah 4.1a: Kedudukan kamera bagi Sampel 1



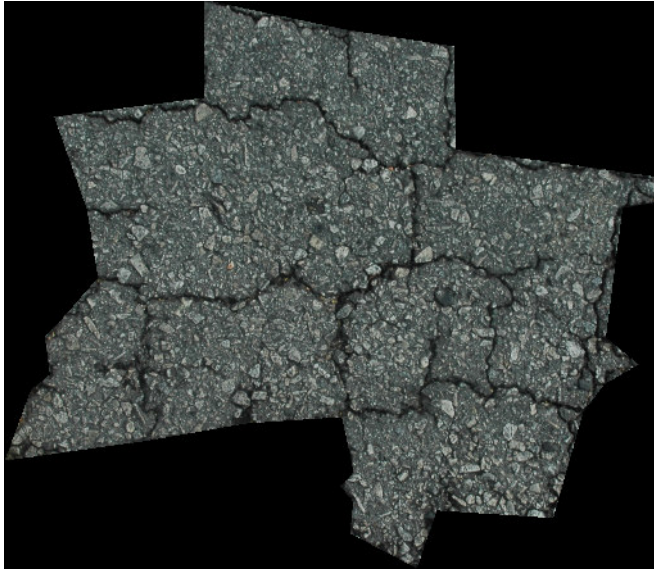
Rajah 4.1b: Imej orthofoto bagi Sampel 1



Rajah 4.1c: Gambar foto bagi Sampel 1



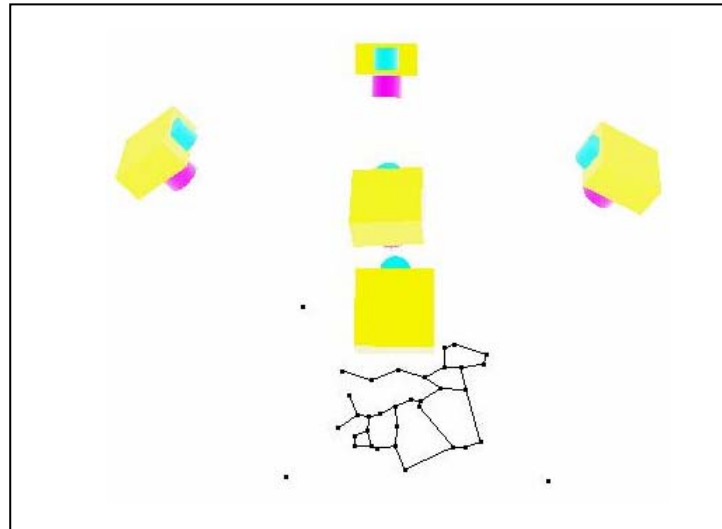
Rajah 4.2a: Kedudukan kamera bagi Sampel 2



Rajah 4.2b: Imej orthofoto bagi Sampel 2



Rajah 4.2c: Gambar foto bagi Sampel 2



Rajah 4.3a: Kedudukan kamera bagi Sampel 3



Rajah 4.3b: Imej orthofoto bagi Sampel 3



Rajah 4.3c: Gambar foto bagi Sampel 3

### 4.3 Analisis Data

Jadual 4.1 menunjukkan hasil daripada pemprosesan data menggunakan kaedah fotogrametri bagi ketiga-tiga sampel.

Jadual 4.1: Hasil analisis menggunakan Kaedah Fotogrametri

<b>Sampel</b>	<b>Saiz Keretakan (mm)</b>	<b>Masa Yang Diperlukan Untuk Mengambil Data</b>	<b>Masa Yang Diperlukan Untuk Memproses Data</b>
<b>1</b>	69	5 minit	30 minit
<b>2</b>	106	6 minit	30 minit
<b>3</b>	72	5 minit	25 minit

Hasil pengamatan dan analisis menggunakan kaedah visual adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4.2.

Jadual 4.2: Hasil analisis menggunakan Kaedah Visual

<b>Sampel</b>	<b>Saiz Keretakan Purata (mm)</b>	<b>Masa Yang Diperlukan Untuk Mengambil Data</b>	<b>Masa Yang Diperlukan Untuk Memproses Data</b>
<b>1</b>	70.7	8 minit	5 minit
<b>2</b>	100.7	8 minit	5 minit
<b>3</b>	78.7	9 minit	5 minit

### 4.3.1 Perbandingan Berdasarkan Saiz Keretakan

Panjang dan lebar keretakan yang diukur menggunakan pembaris 15cm melalui kaedah visual adalah seperti yang dinyatakan di dalam Jadual 4.3. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan hasil yang diperoleh melalui kaedah fotogrametri dan analisis perisian *PhotoModeler Pro5*.

Jadual 4.3: Perbandingan saiz keretakan yang diperolehi daripada kaedah visual dan kaedah fotogrametri

Jenis Analisis	Saiz (mm)						
	Sampel	Visual 1	Visual 2	Visual 3	Visual Purata	Fotogrametri	Perbezaan %
1		70	72	70	70.7	69	2.4
2		100	98	104	100.7	106	5.26
3		80	76	80	78.7	72	8.51

Apabila saiz keretakan jalan yang diperoleh melalui pengamatan kaedah visual dan analisis kaedah fotogrametri dibandingkan, selisih minimum yang diperoleh adalah sebanyak 2.4% manakala selisih maksimumnya adalah sebanyak 8.51%.

### **4.3.2 Perbandingan Berdasarkan Masa**

Perbandingan masa dilakukan pada dua tahap iaitu masa yang diperlukan untuk mengambil data di tapak dan juga masa yang diperlukan untuk memproses data di makmal komputer. Secara purata, masa yang diperlukan untuk mengambil data dengan kaedah fotogrametri ialah 5 minit manakala masa yang diperlukan untuk kaedah visual ialah 8 minit.

Purata masa yang diperlukan untuk pemprosesan data di makmal komputer dengan kaedah fotogrametri ialah kira-kira 30 minit dan masa yang diperlukan untuk kaedah visual ialah 8 minit. Data yang diperolehi dengan menggunakan kaedah fotogrametri boleh dilakukan seorang diri manakala melalui kaedah visual, sekurang-kurangnya dua orang. Selepas data diproses menggunakan kaedah fotogrametri, semua segmen keretakan boleh ditentukkan dalam masa kurang dari 2 minit.

### **4.4 Pengelasan Permukaan Jalan yang Mengalami Keretakan Mengikut Panduan dan Amalan Majlis Bandaraya Petaling Jaya**

Merujuk kepada spesifikasi Majlis Bandaraya Petaling Jaya (Rujuk Lampiran A), untuk sampel 1, jenis keretakan yang dikenal pasti ialah retak pinggir dan berada dalam kategori lemah iaitu retakan tanpa pecahan atau kikisan. Saiz keretakan yang diperolehi melalui kaedah fotogrametri ialah 69 mm manakala saiz purata yang diperolehi daripada kaedah visual ialah 70.7 mm.

Sampel 2 dan sampel 3 masing-masing mempunyai saiz keretakan 106 mm dan 72 mm hasil daripada kaedah fotogrametri manakala hasil pengamatan daripada kaedah visual, saiz purata yang diperolehi bagi sampel 2 dan sampel 3 ialah 100.7 mm dan 78.7 mm. Jenis keretakan yang dialami oleh sampel 2 ialah retak blok yang lemah kerana blok yang terbentuk dari garis retakan yang mempunyai lebar minimum 3mm. Sampel 3 pula mengalami keretakan jenis retak blok yang sederhana kerana membentuk blok yang tersepai sederhana.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN CADANGAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kajian yang telah dijalankan ini menunjukkan bahawa kaedah fotogrametri sebagai satu kaedah alternatif, mampu membantu dalam penilaian permukaan jalan. Kaedah konvensional yang biasa digunakan iaitu kaedah visual kurang meyakinkan dari aspek kejuruteraan di mana proses perlaksanaannya melibatkan banyak ralat kerana menggunakan penilaian dengan mata kasar. Oleh yang demikian, untuk mengurangkan ralat tersebut, pelbagai langkah persediaan diambil untuk mengatasi masalah-masalah yang timbul daripada kaedah konvensional supaya ketepatan ketika melaksanakan kaedah fotogrametri meningkat.

Apabila dibandingkan kedua-dua kaedah tersebut, terdapat beberapa kebaikan dan keburukan masing-masing. Antara kebaikan menggunakan kaedah fotogrametri ialah:

- i) Mudah dan pantas ketika dilakukan di tapak.
- ii) Kebolehkerjaan yang tinggi dengan hanya memerlukan minimum seorang untuk pelaksanaan kaedah.
- iii) Boleh menjanakan model 3D permukaan jalan dan sesuai digunakan untuk pengkajian lanjutan tentang kecacatan permukaan jalan yang lain, contohnya pengupasan, pengikisan, pengkawahan, lekukan dan lain-lain.

Keburukan kaedah fotogrametri ialah:

- i) Kos permulaan yang tinggi untuk membeli perisian yang boleh mencecah beribu ringgit.
- ii) Memerlukan latihan untuk mengendalikan perisian *PhotoModeler Pro5*
- iii) Analisis data dan hasil keputusan lambat diperolehi dan memakan masa.

Kebaikan menggunakan kaedah visual ialah:

- i) Mudah semasa pengambilan dan pemprosesan data.
- ii) Kos permulaan yang sangat rendah.

Keburukan menggunakan kaedah visual ialah:

- i) Bacaan saiz keretakan melalui mata kasar akan menimbulkan keraguan kerana berlakunya ralat paralaks semasa pengukuran menggunakan pembaris. Untuk menambahkan kejituan bacaan, pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali dan diambil puratanya.
- ii) Membahayakan keselamatan kerana terpaksa berada lebih lama di tapak.
- iii) Memerlukan sekurang-kurangnya dua orang untuk pengambilan data.

Kesimpulannya, kaedah fotogrametri jarak dekat boleh membantu dalam penilaian keretakan permukaan jalan dengan ketepatan yang meyakinkan. Ralat yang wujud boleh diatasi dengan mengambil langkah berjaga-jaga dan meletakkan keprihatinan sebagai perkara utama semasa menjalankan kajian.

## 5.2 Cadangan

Keputusan yang diperolehi daripada analisis boleh dikatakan memuaskan kerana selisih yang tertinggi hanya 8.51%. Keputusan ini boleh diperbaiki lagi sekiranya selisih yang diperolehi tidak memuaskan dengan cara:

- a) Bilangan fotograf yang diambil diperbanyakkan lagi kepada 6 hingga 8 supaya semasa imej dipadankan akan menghasilkan keputusan yang lebih tepat dan jitu.
- b) Kecondongan yang bersesuaian diperlukan semasa pengambilan imej fotograf supaya imej yang dipadankan lebih jitu dan akan menghasilkan model 3D yang hampir menyerupai keadaan sebenar.
- c) Perlu mahir dalam menggunakan perisian *Photomodeler Pro5* dan memerlukan penelitian dan konsistensi semasa pepadanan titik untuk mengurangkan selisih.

## RUJUKAN

AUSTROADS (1987) "A guide to the Visual Assessment of Pavement Condition."

Australia: AUSTROADS.

Bannister, A, Raymond, S and Baker, R (1992). "Surveying." Sixth Edition. UK:

Longman.

Baxes, G.A (1994) "Digital Image Processing, Principles and Applications."

Canada: John Wiley and Sons.

Che Ros Ismail (2006). "Highway Lecture Notes." Skudai: Fakulti Kejuruteraan

Awam Universiti Teknologi Malaysia.

Wilfried Linder, March (2003) "Digital Photogrammetry-Theory and application"

Department of Geography, University of Düsseldorf.

Michel Kasser and Yves Egels, 2002, London and New York.

Ibrahim Yaakub, Anuar Ahmad, Mustafa Din Subari (1989) "Fotogrametri Bukan

Topografi." Fakulti Ukur dan Harta Tanah, Institut Teknologi Mara

Abdul Hamid Tahir (1990), *Asas Fotogrametri*. Skudai, Malaysia: Unit Penerbitan

Akademik Universiti Teknologi Malaysia.

Chong Siue Haur (2002). *Penilaian Permukaan Jalan Raya Dengan Kaedah*

*Fotogrametri Jarak Dekat*. Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Malaysia.

Projek Sarjana Muda.

- Jabatan Kerja Raya (1988). *Spesifikasi Piawai Untuk Kerja-kerja Jalan Dan Jambatan*. Kuala Lumpur, Malaysia. (JKR/SPJ/1988).
- Wolf, P.R (1974). *Elements of Photogrammetry (With Air Photo Interpretation And Remote Sensing)*, New York: McGraw-Hill Book Company
- Wolf, P.R (Terjemahan oleh Anuar Ahmad dan Zulkarnaini Mat Amin)(1998). *Unsur- unsur Fotogrametri Dengan Penafsiran Foto Udara Dan Penderiaan Jauh*, Skudai, Malaysia: Penerbit UTM.
- Morse, A.A. and Green, R.L. (1996) "Pavement Design and Rehabilitation." Highway Engineering Handbook: Building and Rehabilitating the Infrastructure. USA: McGraw Hill.
- Newton, I. (1984) "Photography For The Scientists." (Morton, Richard A., ed) Second Edition. London: Academic Press.
- OECD Road Research Group (1978). "Maintenance Techniques for Road Surfacing: Assessment, Choice of Treatment, Planning, Implementation, Road Research." Organization for Economic Cooperation and Development (OECD).
- Ogleby, C and Rivett, L.J. (1985) "Handbook of Heritage Photogrammetry." Canberra: Australian Government Publishing Service.
- Tillotson, H.T., Snaith, M.S. and Huang, Yon G. (1992) "Image Processing For Road Condition Surveys." TRL Report.

Majlis Bandaraya Petaling Jaya, Petaling Jaya, Selangor Darul Ehsan.

Pierce, C. E., Baus, R. L., dan Way, D. J. (2002) “*Using Historical Pavement Condition Data to Calibrate South Carolina’s Performance Prediction Models.*” Columbia, SC: SCDOT.

Smith, K. L. dan Romine, A. R. (1999) “*Manual of Practice – Material and Procedures for Sealing and Filling Cracks in Asphalt Surfaced Pavements.*” Springfield, Virginia: National Research Council.

## LAMPIRAN A

**Ciri-ciri pemeriksaan visual terhadap keretakan permukaan turapan anjal serta pengukuran yang perlu dibuat untuk penilaian keretakan permukaan turapan seperti yang diamalkan oleh Majlis Bandaraya Petaling Jaya ( Cadangan oleh JKR Malaysia )**

Tahap	Jenis Kerosakan
	Keretakan
	❖ Retak Buaya
Lemah	Garis retakan kecil yang bersambungan; tiada penyepaian
Sederhana	Suatu jaringan kepingan terbentuk oleh garis retakan Penyepaian sisi lemah berlaku
Serius	Kepingan tersepai di sisi dan longgar; air dan bahan halus mungkin keluar melalui retakan
Pengukuran	Luas kawasan Lebar retak Lebar sel utama
	❖ Retak Blok
Lemah	Blok yang terbentuk dari garis retakan yang mempunyai min lebar 3 mm atau kurang
Sederhana	Blok yang terbentuk dari garis retakan yang tersepai sederhana dengan min lebih 3 mm
Serius	Blok yang terbentuk oleh retakan yang mengalami penyepaian yang teruk
Pengukuran	Luas kawasan Lebar retak  Lebar sel utama

	<b>❖ Retak Memanjang</b>
Lemah	Retakan yang kecil tanpa penyepaian; min lebar retak 3 mm atau kurang
Sederhana	Retakan dengan penyepaian sederhana; min lebar retak lebih 3 mm
Serius	Retakan dengan penyepaian teruk
Pengukuran	Lebar dan panjang retakan Jarak antara Luas kawasan
	<b>❖ Retak Melintang</b>
Lemah	Retakan yang kecil tanpa penyepaian; min lebar retak 3 mm atau kurang
Sederhana	Retakan dengan penyepaian sederhana; min lebar retak lebih 3 mm
Serius	Retakan dengan penyepaian teruk
Pengukuran	Lebar dan panjang retakan Jarak antara Luas kawasan
	<b>❖ Retak Pinggir</b>
Lemah	Retakan tanpa pecahan atau kikisan
Sederhana	Retakan dengan sikit pecahan atau kikisan
Serius	Retakan dengan pecahan atau kikisan sepanjang sisi
Pengukuran	Lebar dan panjang retakan Luas kawasan
	<b>❖ Retakan Bulan Sabit</b>
Lemah	Retakan tanpa pecahan atau kikisan
Sederhana	Retakan dengan sikit pecahan atau kikisan
Serius	Retakan dengan pecahan atau kikisan sepanjang sisi
Pengukuran	Lebar retak Luas kawasan

## LAMPIRAN B

### Spesifikasi Kamera Nikon D70

<b>Type of Camera</b>	Single-lens reflex digital camera
<b>Image Sensor</b>	RGB CCD, 23.7 x 15.6 mm; total pixels: 6.24 million
<b>Effective Pixels</b>	6.1 million
<b>Autofocus</b>	TTL phase detection by Nikon Multi-CAM900 autofocus module with AF-assist illuminator (approx. 0.5 m to 3.0 m) Detection range: EV -1 to +19 (ISO 100 equivalent, at normal temperature: 20 degrees C/68 degrees F)
<b>Focus Lock</b>	Focus can be locked by pressing shutter-release button halfway (single-servo AF) or by pressing AE-L/AF-L button
<b>Image Size (pixels)</b>	3008 x 2000 [L], 2240 x 1448 [M], 1504 x 1000 [S]
<b>Storage Media</b>	CompactFlash(TM) (CF) Card (Type I and II ) and Microdrive(TM)
<b>Shooting Modes</b>	1) Single frame shooting mode 2) Continuous shooting mode: approx.3 frames per second 3) Self-timer/remote control mode
<b>Picture Angle</b>	Equivalent in 35 mm [135] format is approx. 1.5 times lens focal length
<b>Lens Servo</b>	1) Autofocus (AF): single-servo AF (AF-S); continuous servo AF (AF-C); predictive focus tracking automatically activated according to subject status2) Manual focus (M)

<b>Viewfinder Information</b>	Focus indications, Metering system, AE/FV lock indicator, Shutter speed, Aperture value, Exposure/Exposure compensation indicator, Exposure mode, Flash output level compensation, Exposure compensation, Number of remaining exposures
<b>Exposure Mode</b>	Digital Vari-Program ( Auto, Portrait, Landscape, Close up, Sports, Night landscape, Night portrait),programmed auto [P] with flexible program; shutter-priority auto [S]; aperture priority auto [A]; manual [M]
<b>Storage System</b>	Compressed NEF (RAW): 12-bit lossless compression, JPEG: JPEG baseline-compliant
<b>Built-in Speedlight</b>	Auto flash with auto pop-up[P], [S], [A], [M]: manual pop-up with button release Guide number (ISO 200/ISO 100, m): approx. 15/11 (manual full 17/12)
<b>Auto Exposure Lock</b>	Luminosity locked at detected value with AE-L/AF-L button
<b>Depth of Field Preview</b>	When CPU lens is attached, lens aperture can be stopped down and previewed by pressing the preview button
<b>Exposure Compensation</b>	Exposure compensation range - plus or minus 5 EV in 1/2 or 1/3 EV steps.
<b>Eyepoint</b>	18 mm (-1.0 m -1)
<b>Flash Sync Mode</b>	1) Front-Curtain Sync (normal sync), 2) Red-Eye Reduction, 3) Red-Eye Reduction with Slow Sync, 4) Slow Sync, 5) Rear-Curtain Sync

<b>Power Source</b>	One rechargeable Nikon Li-ion Battery EN-EL3; Three CR2 lithium batteries (with supplied CR2 Battery Holder MS-D70) AC Adapter EH-5 (optional)
<b>Dimensions (W x H x D)</b>	Approx. 5.5 x 4.4 x 3.1 inches
<b>Focusing Screen</b>	B-type BriteView clear matte screen II with superimposed focus brackets and On-Demand grid lines
<b>Viewfinder Frame Coverage</b>	Approx. 95%
<b>Viewfinder Magnification</b>	Approx. 0.75x with 50 mm lens at infinity; -1.0 m-1
<b>Exposure Metering</b>	1) EV 0 to 20 (3D color matrix or center-weighted metering) 2) EV 2 to 20 (spot metering) (ISO 100 equivalent, f/1.4 lens, 20 degrees C/68 degrees F)
<b>Shutter</b>	Combined mechanical and CCD electronic shutter, 30 to 1/8000 s in steps of 1/3 or 1/2 EV, bulb
<b>Sync Contact</b>	X-contact only; flash synchronization at up to 1/500 second
<b>Flash Compensation</b>	-3 to +1 EV in increments of 1/3 or 1/2 EV
<b>Tripod Socket</b>	1/4 inch (ISO1222)
<b>Exposure Meter Coupling</b>	CPU coupling

## LAMPIRAN C

### Koordinat X, dan Y Bagi Titik-titik Kawalan

1. Titik-titik kawalan yang digunakan



2. Koordinat titik-titik kawalan yang digunakan

Koordinat	X	Y
Titik 1	0	0
Titik 2	0	1
Titik 3	1	0

## LAMPIRAN D

### Calibration Grid Yang Digunakan Semasa Mengkalibrasi Kamera

