

PENGLIHATAN *FOVEAL*

(*FOVEAL VISION*)

Oleh

Azida Binti Mohd Zol

**Disertasi ini dikemukakan kepada
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian**

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRONIK)

**Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia**

Mei 2006

ABSTRAK

Dalam era globalisasi dunia pada hari ini, perkembangan pesat dalam pelbagai bidang merupakan aset utama kepada kemajuan manusia dan tamadunnya. Pemprosesan Imej Digital (*Digital Image Processing*) juga memainkan peranan yang amat penting dalam pelbagai aplikasi termasuklah saintifik, perindustrian, bio-perubatan, angkasa lepas, sektor kerajaan dan berbagai-bagai lagi. Sebagaimana yang kita tahu, aplikasi teknik pemprosesan imej digital semakin meluas dalam dunia perubatan moden pada masa sekarang. Di samping perkembangan ini, bidang pemprosesan imej digital melangkah lebih ke hadapan dengan terciptanya perisian yang menggunakan konsep yang sama dengan apa yang pernah dibangunkan sebelum ini dengan keupayaan penglihatan manusia. Projek ini telah berjaya membangunkan perisian ***Foveal Vision*** sebagai sebuah perisian yang efektif dan boleh berfungsi sama seperti sistem penglihatan manusia sebenar. *Fovea*, iaitu bahagian tengah retina (titik kuning) yang terdapat dalam mata memberikan kebezajelasan yang tertinggi pada keseluruhan permukaan retina dan dengan itu perincian terkecil dapat dilihat [25]. Perkembangan dalam kejuruteraan dan robotik akan memerlukan perisian seumpama ini dalam meningkatkan keupayaan serta kebolehan sesuatu ciptaan robotik yang menggunakan aplikasi sistem penglihatan manusia. Selain itu, pembangunan perisian ini dapat membantu pakar-pakar mata dalam memahami simulasi penglihatan manusia dan penyakit-penyakit mata yang berkaitan dengan lebih berkesan. Perisian ini direkabentuk di atas platform *Borland C++ Builder v5.0* dengan berkonsepkan pemprosesan imej digital serta implementasi algoritma yang bersesuaian. Pemerhatian dan keputusan yang diperoleh sepanjang pelaksanaan projek ini amat membanggakan setelah diuji dengan beberapa imej paras kelabu. Ini telah membuktikan perisian yang dibangunkan ini berjaya mencipta keupayaan penglihatan manusia dengan kemampuannya berfungsi sama seperti sistem penglihatan manusia biasa apabila sebarang imej paras kelabu diinputkan ke dalamnya.

ABSTRACT

In the world of globalisation nowadays, rapid expansion in various fields is the main asset for the development of mankind and their civilization. Digital Image Processing also plays an important role in different applications including scientific, industrial, bio-medical, outer space, government sectors and others. The application of digital image processing techniques are widely used in the modern medical field today. Beyond this expansion, digital image processing field move a step forward with the development of a software with the same concept as previously done with human vision capability. This is such a healthy expansion and typically can increase the development of other related fields. This project had successfully developed an effective software, **Foveal Vision** that is able to function as an actual human vision system. Fovea is the name for the central part of the retina ("the yellow spot") in our eye. Of the entire surface of the retina, the fovea gives the highest resolution, and therefore the smallest details visible [25]. Robotics and engineering fields are the most probably targetted in demand for the software in increasing the ability as well as capability any robotics invention that uses the application of human vision system. It will also help eye specialists to understand the human vision and entirely any related eye diseases can be detected. This software is developed using *Borland C++ Builder v5.0* platform with the use of digital image processing concepts and the implementation of appropriate algorithms. Very satisfactory results were obtained from this project after a series of tests were conducted on several grayscale images. It is enough to prove that this software that had been developed is able to create human vision capability as it can function in the same manner like any ordinary human vision does with the input of any grayscale images.

PENGHARGAAN

Syukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah rahmat dan keizinanNya dapatlah saya menyiapkan projek tahun akhir yang bertajuk '**Penglihatan Foveal**' ini dalam masa yang telah ditetapkan.

Pertama-tamanya, saya ingin mengambil kesempatan ini untuk mengucapkan sebanyak-banyak terima kasih kepada **Panel Projek Tahun Akhir Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik Dan Elektronik** atas usaha dan kerja keras mereka dalam melicinkan perjalanan projek tahun akhir bagi sesi 2005/ 06.

Penghargaan tertinggi ditujukan kepada penyelia projek saya, **Prof. Madya Umi Kalthum Binti Ngah** kerana telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk mengendalikan projek ini di samping sentiasa bersedia meluangkan masa beliau dengan memberi tunjuk ajar, bimbingan dan nasihat serta keyakinan untuk saya sepanjang pelaksanaan projek ini.

Seterusnya, ucapan ribuan terima kasih yang tidak terhingga saya tujukan kepada **Kumpulan Pengimejan Perubatan USM Kampus Kejuruteraan** terutamanya **Saudari Shalihatun Azlin** kerana telah memberikan komitmen yang jitu, pandangan dan buah fikiran yang membina untuk saya menyiapkan projek tahun akhir ini dengan sempurna.

Tidak dilupakan juga kepada kedua-dua ibu bapa saya yang sentiasa memberikan sokongan dan dorongan yang merupakan kekuatan utama untuk saya melaksanakan projek ini dengan jayanya.

Akhir sekali, saya juga ingin merakamkan penghargaan ini buat rakan-rakan seperjuangan, individu serta pihak-pihak yang telah banyak membantu saya secara langsung ataupun secara tidak langsung dalam menjayakan projek tahun akhir ini. Terima kasih.

KANDUNGAN

Muka Surat

ABSTRAK.....	iii
KANDUNGAN.....	iv
PENGHARGAAN.....	viii

BAB 1 PENGENALAN

1.1	Pendahuluan.....	1
1.2	Objektif Dan Skop Projek.....	1
1.3	Sistem Pembangunan Perisian.....	3
1.4	Konsep Asas Pemprosesan Imej Digital.....	3
1.4.1	Imej Digital.....	4
1.4.2	Paras Kelabu.....	6
1.5	Konsep Penglihatan <i>Foveal</i>	6
1.6	Langkah-Langkah Perlaksanaan Projek.....	9
1.6.1	Pilihan Perisian Yang Digunakan.....	11
1.6.2	Rekabentuk Perisian Dan Pembangunan Aplikasi.....	11
1.6.3	Pengujian Sistem Aplikasi.....	11
1.6.4	Demonstrasi Dan Pengubahsuaian.....	12
1.7	Penutup.....	12

BAB 2 PEMROSESAN IMEJ DIGITAL

2.1	Pendahuluan.....	13
2.2	Definisi Imej Digital.....	13
2.3	Konsep Asas Imej Digital Paras Kelabu.....	14
2.4	Pemprosesan Imej Digital.....	15
2.4.1	Pemprosesan.....	16
2.4.2	Tetingkap.....	16

2.5	Tujuan Pemrosesan Imej.....	17
2.6	Teknik-Teknik Memanipulasi Imej Digital.....	18
2.6.1	Pemrosesan Piksel.....	20
2.6.2	Konvolusi.....	21
2.7	Penutup.....	23

BAB 3 SISTEM PEMBANGUNAN PERISIAN

3.1	Pendahuluan.....	24
3.2	Pengenalan Kepada <i>Borland C++ Builder v5.0</i>	24
3.3	Kelebihan Penggunaan <i>Borland C++ Builder v5.0</i>	26
3.4	Fail-Fail Projek.....	26
3.4.1	Fail Dengan ‘ <i>Extension</i> ’ .BPR.....	27
3.4.2	Fail Dengan ‘ <i>Extension</i> ’ .DFM.....	27
3.4.3	Fail dengan ‘ <i>Extension</i> ’ .CPP dan .H.....	27
3.4.4	Fail dengan ‘ <i>Extension</i> ’ bermula dengan ~.....	27
3.4.5	Fail dengan ‘ <i>Extension</i> ’ .EXE.....	27
3.4.6	Fail dengan ‘ <i>Extension</i> ’ .OBJ.....	28
3.4.7	Fail dengan ‘ <i>Extension</i> ’ .TDS.....	28
3.5	Penutup.....	28

BAB 4 ALGORITMA

4.1	Pendahuluan.....	29
4.2	Penurasan Ruang.....	29
4.2.1	Konsep Asas.....	29
4.2.2	<i>Kernel</i> Konvolusi Ruang (Topeng).....	32
4.2.3	Penuras Linear Pelicinan.....	32
4.2.4	Pengaburan.....	33
4.3	Penurasan Purata.....	34
4.3.1	Penurasan Purata <i>Kernel</i> 3 x 3.....	35
4.3.2	Penurasan Purata <i>Kernel</i> 5 x 5.....	36

4.3.3	Penurasan Purata <i>Kernel</i> 7 x 7.....	37
4.3.4	Penurasan Purata <i>Kernel</i> 9 x 9.....	38
4.3.5	Penurasan Purata <i>Kernel</i> 11 x 11.....	40
4.4	Penggunaan Penuras Purata Dalam Proses Pengaburan.....	42
4.5	Penutup.....	43

BAB 5 PENERANGAN PERISIAN

5.1	Pendahuluan.....	44
5.2	Pengenalan Kepada Perisian <i>Foveal Vision</i>	44
5.2.1	Menu Utama.....	46
5.2.2	Bar perkakasan.....	47
5.2.3	Bar Status Utama.....	47
5.2.4	Ruang Kerja Aplikasi.....	47
5.3	Penggunaan Perisian.....	48
5.4	Konsep <i>MDI Child</i> Dan <i>MDI Parent</i>	51
5.5	Implementasi Aturcara.....	51
5.6.1	Penuras Purata.....	51
5.6.1.1	Penuras Purata <i>Kernel</i> 3 x 3.....	52
5.6.1.2	Penuras Purata <i>Kernel</i> 5 x 5.....	53
5.6.1.3	Penuras Purata <i>Kernel</i> 7 x 7.....	54
5.6.1.4	Penuras Purata <i>Kernel</i> 9 x 9.....	55
5.6.1.5	Penuras Purata <i>Kernel</i> 11 x 11.....	56
5.6.2	Penggunaan <i>Event</i>	58
5.6.2.1	<i>OnMouse Move</i>	58
5.6.2.2	<i>OnMouse Down</i>	59
5.6.2.3	<i>OnMouse Up</i>	60
5.6	Penutup.....	60

BAB 6 PEMERHATIAN DAN KEPUTUSAN

6.1	Pendahuluan.....	61
6.2	Imej Asal.....	61
6.3	Pemerhatian Dan Keputusan Menggunakan Penuras Purata.....	66
6.1.1	Penuras Purata <i>Kernel</i> 3 x 3.....	66
6.1.2	Penuras Purata <i>Kernel</i> 5 x 5.....	74
6.1.3	Penuras Purata <i>Kernel</i> 7 x 7.....	83
6.1.4	Penuras Purata <i>Kernel</i> 9 x 9.....	91
6.1.5	Penuras Purata <i>Kernel</i> 11 x 11.....	100
6.4	Pemerhatian Dan Keputusan Akhir	108
6.5	Penutup.....	117

BAB 7 KESIMPULAN DAN CADANGAN

7.1	Pendahuluan.....	118
7.2	Kesimpulan.....	118
7.3	Cadangan Masa Hadapan.....	119
7.4	Penutup.....	120

RUJUKAN**LAMPIRAN A KEPUTUSAN-KEPUTUSAN TAMBAHAN**

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Kemajuan pemrosesan imej digital melibatkan pengaplikasiannya dalam pelbagai bidang. Kini, aplikasi pemrosesan imej digital telah bertambah luas dan digunakan juga untuk aplikasi sistem penglihatan manusia. Projek ini yang bertajuk **Penglihatan Foveal** (*Foveal Vision*) buat pertama kali ditawarkan sebagai projek tahun akhir yang digunakan untuk aplikasi sistem penglihatan manusia. Bab pengenalan ini akan menerangkan objektif dan skop projek, dasar pemrosesan imej digital dan membincangkan konsep serta langkah-langkah pelaksanaan sepanjang projek ini dijalankan.

1.2 Objektif Dan Skop Projek

Projek ini telah dijalankan bagi tujuan membangunkan sebuah perisian yang efektif dan boleh berfungsi sama seperti sistem penglihatan manusia. Perkembangan dalam kejuruteraan dan robotik akan memerlukan perisian *Foveal Vision* (yang akan diterangkan nanti) dalam meningkatkan keupayaan serta kebolehan sesuatu ciptaan robotik yang menggunakan aplikasi sistem penglihatan manusia. Pengguna yang mungkin untuk semua penterjemahan 3D (*3D rendering*) adalah sistem penglihatan manusia. Dengan teknologi paparan dan perkembangan penterjemahan perkakasan masa nyata (*real time*) yang sentiasa meningkat, kita berada di ambang penjana mesin yang melebihi (*surpass*) keupayaan masukan sistem penglihatan. Pada satu mesin dengan seorang pengguna dan kadar kerangka (*frame rate*) penterjemah yang dibenarkan sebanyak 60 Hz, ia adalah dalam kawasan jauh daripada *fovea* berada [28].

Pembangunan perisian ini juga adalah untuk memudahkan pemahaman konsep simulasi sistem penglihatan manusia. *Foveal Vision* mampu memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang bagaimana sistem penglihatan manusia berfungsi. Sistem pembelajaran untuk membaca di sekolah pada tiga hingga empat tahun pertama adalah berorientasikan pandangan terus (*straight viewing*) menggunakan penglihatan *foveal*, yang juga disebut penglihatan *tunnel* (*tunnel vision*). Ini disebabkan oleh pendapat saintifik yang mengatakan bahawa mata manusia tidak berkemampuan untuk mengesan lebih daripada enam huruf dengan setiap kali kita memberhentikan seketika pandangan keasyikan mata (*eye fixation pause*). Sejak tahun 1990, kajian oleh pakar-pakar mata dan para neurosaintis mengatakan bahawa mata manusia boleh membesarkan kawasan penglihatan (*field of vision*) dan corak pergerakan mata (*eye movement patterns*) dengan mudah menggunakan penglihatan *peripheral* (*peripheral vision*) untuk mendalami sekurang-kurangnya 16 hingga 35 huruf pada setiap kali mata berhenti dalam lingkungan satu ayat untuk dibaca (*per saccade*) [29].

Selain itu, *Foveal Vision* juga dibangunkan dengan objektif boleh membantu pakar-pakar mata dalam mengenalpasti masalah dan penyakit-penyakit berkaitan kesihatan mata. Pemanjangan paksi mata rabun jauh (*myopic*) berpotensi meregangkan retina, dengan yang demikian mengurangkan kekuatan pensampelan neuron pada retina. Ketajaman kebezajelasan (*acuity resolution*) dalam kawasan *peripheral* mata yang normal dikatakan pensampelan yang terhad (*sampling limited*), iaitu dicadangkan pemanjangan retina dalam mata rabun jauh perlu ada kesan langsung pada ketajaman kebezajelasan di mana-mana dalam kawasan penglihatan kecuali mungkin pada *fovea*, yang lazimnya terhad secara optik (*optically limited*). Ramalan ini diuji bahawa kekuatan pensampelan neuron boleh dikurangkan dalam mata rabun jauh dengan mengukur ketajaman kebezajelasan untuk jerjak sinusoid (*sinusoidal gratings*) dalam *fovea* dan lima lokasi *peripheral* bagi 60 subjek rabun jauh memaparkan kesilapan yang bersifat membias (*refractive errors*) dalam julat yang luas [27].

Kaedah atau algoritma penurasan yang digunakan dalam projek ini telah diimplementasi dengan menggunakan perisian *C++ Builder v5.0* yang mempunyai persekitaran tettingkap. Disebabkan imej yang diproses disimpan dalam format peta-bit (*bitmap*), oleh itu aturcara yang dibina akan memanipulasi imej jenis *bitmap*. Perisian

yang dihasilkan akan diimplementasi ke atas sebarang imej paras kelabu (*grayscale*) yang diinputkan ke dalam perisian dalam bentuk *bitmap*. Imej *bitmap* adalah antara pilihan yang wajar memandangkan *bitmap* merupakan format imej yang lengkap dan tidak mengalami kehilangan maklumat piksel akibat pemampatan imej.

Melalui pelaksanaan projek ini, diharapkan perkembangan dalam sistem robotik dapat dipertingkat dengan menggunakan perisian yang dibina. Selain itu, perisian yang dibina juga diharapkan dapat membantu para pakar mata memahami konsep penglihatan manusia dengan lebih jelas di samping mengenalpasti masalah dan penyakit-penyakit mata yang berkaitan apabila penglihatan adalah tidak normal.

1.3 Sistem Pembangunan Perisian

Perisian yang direkabentuk dibina dalam bahasa pengaturcaraan C++. Bahasa pengaturcaraan C++ merupakan sejenis bahasa pengaturcaraan yang umum dan mempunyai julat keupayaan yang luas untuk melaksanakan fungsi-fungsi dan algoritma-algoritma yang diimplementasikan. Bagi pelaksanaan pengaturcaraan secara visual, sistem IDE (*Integrated Development Environment*) *Borland C++ Builder v5.0* telah digunakan. Sistem IDE ini berupaya membina perisian tettingkap (*Windows*) dengan cepat dan cekap. Penerangan yang lebih mendalam mengenai *Borland C++ Builder v5.0* boleh dirujuk dalam Bab 3.

1.4 Konsep Asas Pemprosesan Imej Digital

Projek ini secara keseluruhannya melibatkan teknik-teknik dan kaedah-kaedah memproses dan memanipulasi imej digital. Dalam projek ini, hanya teknik-teknik pemprosesan imej paras kelabu sahaja yang diperlukan memandangkan imej yang diinputkan hanya melibatkan imej paras kelabu sahaja untuk memudahkan proses manipulasi imej digital dilakukan.

Pada asasnya, imej paras kelabu mempunyai julat kecerahan 0-255 iaitu dari hitam ke putih [8]. Teknik pemprosesan imej digital paras kelabu melibatkan

penganalisaan piksel-piksel imej dan seterusnya manipulasi tertentu berdasarkan algoritma yang digunakan.

Imej adalah satu nilai tatasusunan (*array*) dua dimensi yang mengandungi spesifikasi kekuatan isyarat pada suatu kedudukan ruang tertentu. Untuk mendigitkan (*digitize*) imej bagi tujuan pemprosesan imej digital, imej harus melalui proses pensampelan (*sampling*) dan proses pengkuantisasi (*quantization*) untuk menghasilkan imej digital [2]. Antara konsep-konsep penting dalam bidang pemprosesan imej digital ialah konsep asas imej digital, paras kelabu dan jenis algoritma pemprosesan imej digital.

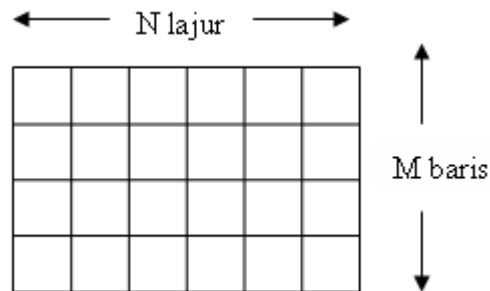
1.4.1 Imej Digital

Unsur asas dalam imej digital adalah piksel [6]. Suatu imej digital adalah satu tatasusunan berbentuk segiempat yang terdiri daripada elemen-elemen kecil iaitu piksel. Setiap piksel diwakili oleh satu nilai bernombor. Secara umumnya, nilai piksel adalah berhubungkait dengan tahap kecerahan atau warna yang dilihat apabila imej digital ditukarkan kepada imej analog untuk paparan. Setiap piksel di dalam sesuatu imej mempunyai paras kelabu yang tertentu pada kedudukannya di dalam imej tersebut [2].

Dalam sistem komputer dan pengimejan, suatu imej digital diwakili oleh nombor-nombor dalam bentuk digit-digit binari (*binary digits*) yang dinamakan *bits*. Mula-mula, struktur umum suatu imej digital dibahagikan kepada piksel-piksel berbentuk segiempat. Kemudian, setiap piksel mewakili satu siri digit-digit binari.

Hasil daripada proses pensampelan (*sampling*) dan pengkuantisasi (*quantization*) ialah nombor-nombor sebenar yang berbentuk segiempat. Satu imej $f(x, y)$ disampelan dan dengan demikian imej digital yang terhasil mempunyai M baris dan N lajur. Nilai-nilai koordinat (x, y) menjadi kuantiti diskrit. Nilai koordinat pada pusat adalah $(x, y) = (0, 0)$ [2].

Rajah 1.1 menunjukkan bahawa imej digital boleh diwakilkan oleh piksel-pikselya dalam bentuk matrik $M \times N$. Rajah di bawah menunjukkan imej yang diwakili oleh grid dengan M baris dan N lajur dalam dua dimensi.



Rajah 1.1 Perwakilan matrik untuk suatu imej

Rajah 1.2 menunjukkan imej dalam bentuk perwakilan matrik seperti yang diperoleh daripada rujukan [2]. Untuk perwakilan matrik, subskrip baris bermula dari 0 hingga $M-1$ sementara subskrip lajur pula bermula dari 0 hingga $N-1$.

$$\begin{bmatrix} f_{(0,0)} & f_{(0,1)} & \dots & f_{(0,N-1)} \\ f_{(1,0)} & f_{(1,1)} & \dots & f_{(1,N-1)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{(M-1,0)} & f_{(M-1,1)} & \dots & f_{(M-1,N-1)} \end{bmatrix}$$

Rajah 1.2 Perwakilan matrik untuk suatu imej $M \times N$ yang lengkap

Suatu piksel P pada kordinat (x,y) mempunyai empat jiran sebaris dan selajur yang masing-masing mempunyai koordinat seperti berikut :

$$(x+1,y), (x-1,y), (x,y+1), (x,y-1)$$

Kesemua jiran terdekat bagi piksel P pula ditunjukkan oleh **Rajah 1.3** [6].

$(x-1,y-1)$	$(x,y-1)$	$(x+1,y-1)$
$(x-1,y)$	P (x,y)	$(x+1,y)$
$(x-1,y+1)$	$(x,y+1)$	$(x+1,y+1)$

Rajah 1.3 Jiran terdekat bagi piksel P

1.4.2 Paras Kelabu

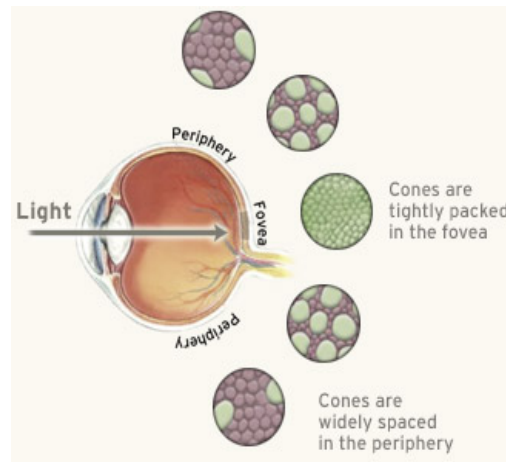
Piksel ataupun elemen gambar ialah unit terkecil yang digunakan untuk mewakili imej digital. Sebuah imej digital adalah terdiri daripada sekumpulan piksel tertentu. Setiap piksel yang menghasilkan gambar ini pula mempunyai nilai paras kelabu yang berlainan. Kombinasi paras kelabu yang berbeza-beza akan memberikan kecerahan (*brightness*) dan keamatan (*intensity*) kepada gambar tersebut [17].

Dalam projek ini, imej dengan 256 nilai paras kelabu telah digunakan. Nilai paras kelabu 0 mewakili keadaan paling gelap manakala nilai paras kelabu 255 pula akan mewakili keadaan yang paling cerah. Nilai-nilai paras kelabu yang lain akan mempunyai tahap kecerahan dan keamatan yang berada di antara dua nilai paras kelabu tersebut [17].

1.5 Konsep Penglihatan *Foveal*

Penglihatan *foveal* (*foveal vision*), yang juga disebut penglihatan fotopik (*photopic vision*) adalah sebahagian daripada imej yang difokuskan ke atas *fovea*, kawasan yang terdapat pada retina berdekatan paksi optik dalam mata. *Fovea* mempunyai ketumpatan reseptor sensitif-warna (*color-sensitive receptors*) yang tinggi dikenali sebagai kon (*cones*), tetapi tidak mempunyai rod. Penglihatan *foveal* membenarkan kebezajelasan (*resolution*) yang jauh lebih tinggi berbanding penglihatan *parafoveal* (*parafoveal vision*) dan merupakan ragam (*mode*) penglihatan yang biasa

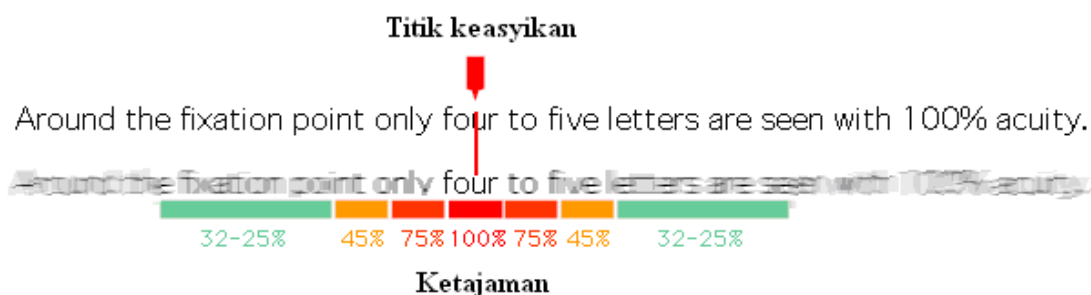
pada waktu siang. Penglihatan dalam *fovea* adalah fotopik (*photopic*) sementara dalam kawasan *parafoveal* pula boleh menjadi sama ada fotopik atau skotopik (*scotopic*) [10].



Rajah 1.4 Kedudukan fovea dalam retina

Secara asasnya, imej ialah data tatasusunan dua dimensi dengan nilai pada setiap unsur tatasusunan berkait dengan keamatan atau warna. Secara tipikalnya, suatu imej ditakrifkan sebagai hasil beberapa jenis sistem pengumpulan imej (*image collection system*), walau bagaimana pun ia boleh menjadi perwakilan dalam dua dimensi bagi sebarang data oleh keamatan atau warna [10].

Fotopik ialah penglihatan yang pengantaranya adalah kon pada peringkat lar (*luminance*) yang biasa di mana kon membenarkan penglihatan warna manakala skotopik ialah penglihatan yang pengantaranya adalah rod sahaja pada peringkat lar yang sangat rendah di mana rod tidak membenarkan penglihatan warna. Lar, radian dengan fotometrik yang sama banyak diperoleh dengan mencantumkan radian spektrum oleh kecekapan lar (*luminous efficiency*) terhadap spektrum nampak (*visible spectrum*) [10].



Rajah 1.5 Peratusan ketajaman penglihatan *foveal*

Rajah 1.5 menunjukkan peratusan ketajaman penglihatan *foveal* dengan sekali pandangan [9]. Teks pada garisan bawah menyelaku ketajaman penglihatan dengan peratusan ketajaman nisbi (*relative acuity percentages*) daripada data.

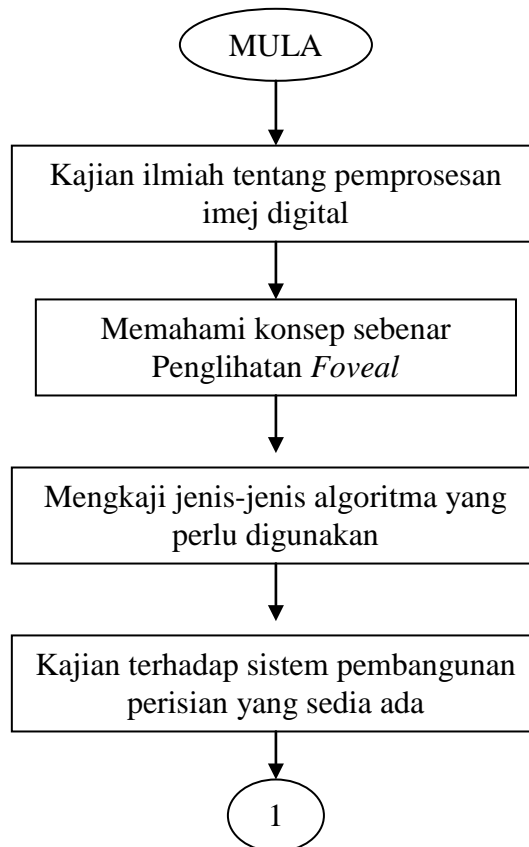
Sementara penglihatan *foveal* bertindak seperti alat pembesar (*magnifier*), penglihatan *peripheral* (*peripheral vision*) merupakan kemampatan (*compression*) data. Ia membenarkan komputer biologikal (*biological computers*) menentukan di mana untuk mencari maklumat yang berkaitan. Daripada ini, kesemua arahan otot yang diperlukan dikira dalam milisaat untuk membawa sistem *foveal* (*foveal system*) ke kedudukannya. Mekanisme ini berlaku tiga hingga empat kali sesaat. Selepas itu, data sistem *peripheral* yang telah dimampatkan dikira semula secara automatik untuk memampas (*compensate*) pergerakan mata. Secara kasarnya, sistem *foveal* menggunakan 50% saraf tampak (*visual nerves*) untuk penghantaran maklumat daripada tempat ketajaman (*acuity spot*) 100% [9].

Penglihatan *peripheral* ialah apabila mata menghasilkan satu gambar yang sangat kabur selagi tidak melihat secara terus pada perincian yang dikehendaki. Namun dengan kelajuan penghampiran 3 pergerakan mata sesaat (*3 eye-movements per second*), gambar yang dikaburkan (*blurred*) diimbis dan dikemaskinikan dalam ingatan tampak (*visual memory*), dan ini dilakukan oleh penglihatan *foveal*. Oleh sebab kita dapat melihat pada mana-mana bahagian imej dengan ketajaman penuh (*full sharpness*) yang kita hanya sedar gambar dikaburkan, apabila kita menyedari bahawa kita tidak mendapat perincian maklumat tanpa melihat kepadanya [10].

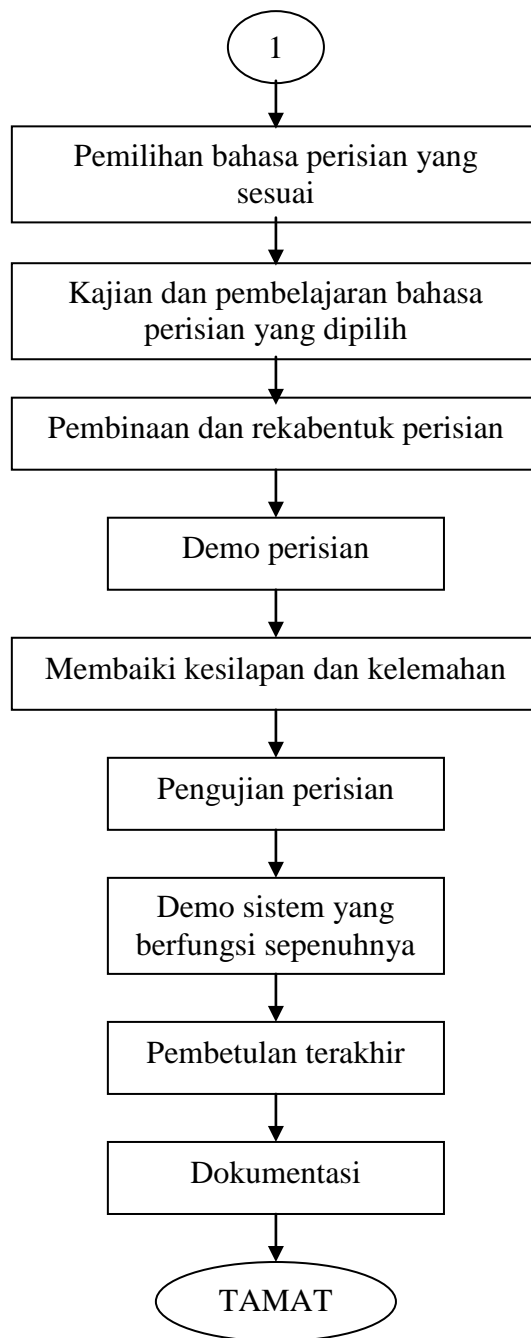
1.6 Langkah-Langkah Perlaksanaan Projek

Secara keseluruhannya, perlaksanaan projek ini dapat dibahagikan kepada dua peringkat di samping memerlukan beberapa langkah tertentu. Bagi peringkat pertama, kajian ilmiah terhadap pemprosesan imej digital dan konsep sebenar penglihatan *foveal* dijalankan manakala peringkat kedua adalah pemilihan dan pembelajaran bahasa perisian yang dipilih serta rekabentuk perisian berdasarkan maklumat-maklumat yang diperoleh.

Carta alir yang ditunjukkan oleh **Rajah 1.6** menunjukkan langkah-langkah pelaksanaan projek pada peringkat pertama dan **Rajah 1.7** menunjukkan langkah-langkah pelaksanaan projek pada peringkat kedua.



Rajah 1.6 Langkah-langkah pelaksanaan projek peringkat pertama



Rajah 1.7 Langkah-langkah pelaksanaan projek peringkat kedua

1.6.1 Pilihan Perisian Yang Digunakan

Borland C++ Builder v5.0 telah dipilih sebagai bahasa pengaturcaraan bagi perisian ini. Bahasa pengaturcaraan ini digunakan kerana ia amat sesuai untuk membangunkan perisian yang berpersekitaran tettingkap (*Window*). Perisian ini juga mudah diperoleh di pasaran dan dapat digunakan oleh kebanyakan komputer yang berasaskan *Pentium* atau yang setandingnya. Oleh sebab sistem yang dibina juga berupaya untuk menyimpan paparan grafik, maka satu cakera keras (*hard disk*) kapasiti besar dalam lingkungan 5GB hingga 6GB diperlukan. Komputer tersebut juga perlu dilengkapi dengan ingatan capaian rawak (*RAM*) sekurang-kurangnya 32MB untuk memastikan sistem perisian yang ingin dibangunkan berjalan dengan lancar dan tidak menghadapi sebarang masalah.

1.6.2 Rekabentuk Perisian Dan Pembangunan Aplikasi

Pada awalnya, perisian berasaskan pemprosesan imej digital yang sedia ada difahami dan dikaji. Kemudian, konsep asas sistem penglihatan manusia dan pengumpulan maklumat penting untuk pembangunan perisian dipelajari. Dengan itu, satu perisian untuk aplikasi sistem penglihatan sebenar berasaskan pemprosesan imej digital telah dibangunkan. Penerangan yang lebih terperinci akan diterangkan dalam Bab 4 dan Bab 5.

1.6.3 Pengujian Perisian

Perisian yang telah siap dibina perlulah diuji dari segi pengoperasiannya, sama ada setiap fungsi di dalam sistem tersebut berfungsi mengikut spesifikasi yang ditetapkan ataupun tidak. Sebarang imej dimasukkan ke dalam sistem tersebut untuk tujuan pengujian perisian tersebut. Kemudian, perubahan dan pembetulan akan dilakukan sekiranya terdapat kekurangan atau ketidaktepatan dalam perisian.

1.6.4 Demonstrasi Dan Pengubahsuaian

Perisian yang telah siap sepenuhnya didemonstrasikan kepada penyelia projek supaya pengubahsuaian dan pembedulan dapat dilakukan. Seterusnya, perisian *Foveal Vision* siap dibangunkan.

1.7 Penutup

Secara keseluruhannya, Bab 1 ini menerangkan objektif pembangunan perisian *Foveal Vision* serta langkah-langkah yang telah diambil untuk menjayakan projek ini. Skop projek ini adalah untuk membangunkan satu perisian yang boleh digunakan untuk aplikasi yang berfungsi sama seperti sistem penglihatan manusia dengan menggunakan perisian *Borland C++ Builder 5.0*.

Penerangan yang lebih lanjut mengenai konsep asas dan pemprosesan imej digital akan diberikan dalam bab yang seterusnya iaitu Bab 2. Bab 3 dan Bab 4 pula akan menerangkan sistem pembangunan perisian dan algoritma-algoritma yang telah digunakan untuk merekabentuk perisian tersebut. Penjelasan yang lebih terperinci tentang perisian *Foveal Vision* yang telah dibina akan diberikan dalam Bab 5 manakala Bab 6 memerhatikan pemerhatian dan keputusan yang telah diperolehi daripada implementasi algoritma yang digunakan sepanjang menjalankan projek ini. Disertasi ini diakhiri dengan Bab 7 yang membincangkan kesimpulan bagi projek ini. Selain itu, cadangan-cadangan membina dan penambahbaikan serta perkembangan penyelidikan seterusnya juga telah diberikan.

BAB 2

PEMROSESAN IMEJ DIGITAL

2.1 Pendahuluan

Pemrosesan imej digital merupakan bidang yang semakin mendapat perhatian kini dalam konteks memperoleh maklumat dan memanipulasi imej dengan kaedah yang lebih berkesan. Dalam bidang perubatan misalnya, pemrosesan imej digital diaplikasikan dengan lebih meluas kerana kecekapan dan ketepatan sistem perisian yang dibangunkan dalam mendiagnosis sesuatu penyakit.

Perkembangan dunia pemrosesan imej digital tidak hanya tertumpu kepada bidang perubatan sahaja, tetapi juga melangkah lebih ke hadapan dengan ciptaan keupayaan penglihatan manusia. Kini, aplikasi bidang pemrosesan imej digital telah bertambah luas dan melibatkan diagnosis perubatan, bidang robotik dan '*artificial intelligence*' yang melibatkan pengecaman teks dan penulisan oleh mesin bagi menggantikan pengecaman dengan mata manusia [7].

Penerangan seterusnya adalah mengenai konsep asas pemrosesan imej digital khususnya imej digital paras kelabu, teknik-teknik memanipulasi imej digital dari segi pemrosesan piksel dan konvolusi dalam merekabentuk perisian yang mempunyai keupayaan seperti sistem penglihatan manusia.

2.2 Definisi Imej Digital

Imej digital adalah satu fail elektronik yang membentuk elemen gambar (piksel) segiempat apabila dipaparkan pada peralatan pandangan seperti monitor komputer. Imej yang dipaparkan adalah satu matrik dua dimensi yang terdiri daripada ribuan atau jutaan piksel yang setiap satunya mempunyai alamat, saiz dan perwakilan warna yang tersendiri [13].

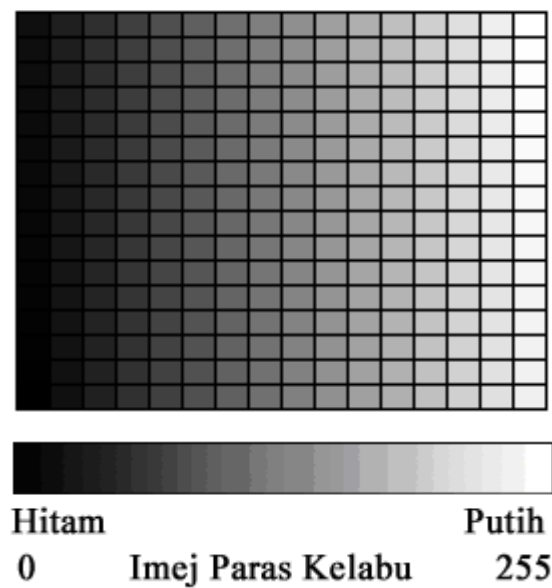
Pendigitalan satu gambar foto membawa maksud menukar atau menangkap imejnya secara elektronik melalui pengimbas atau kamera digital. Perisian pemrosesan imej digital membenarkan kita untuk memperbesar imej untuk melihat piksel dan mengukur nilai nombor warna untuk setiap piksel [8].

Satu imej digital $A[m, n]$ dalam ruang diskret dua dimensi diperoleh daripada satu imej analog $a(x, y)$ dalam ruang selanjar dua dimensi menerusi proses pensampelan yang dikenali sebagai digitasi. Imej selanjar dua dimensi $a(x, y)$ dibahagikan kepada M baris dan N lajur. Elemen pada suatu lokasi baris dan lajur dikenali sebagai piksel. Nilai yang didapati pada koordinat integer $[m, n]$ dengan $m = \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$, dan $n = \{0, 1, 2, \dots, M-1\}$ ialah $A[m, n]$. Nilai bagi setiap piksel ditentukan daripada purata kecerahan pada imej asal.

2.3 Konsep Asas Imej Digital Paras Kelabu

Imej paras kelabu (*grayscale*) merupakan input utama kepada perisian dalam projek ini. Pada asasnya, imej paras kelabu merupakan imej yang warnanya adalah paras kepada warna kelabu. Antara tujuan membezakan sesetengah imej daripada sebarang imej warna yang lain adalah kerana kurang maklumat yang perlu dilengkapkan untuk setiap piksel. Dalam keadaan sebenar, warna kelabu adalah sejenis warna di mana kesemua komponen warna merah, hijau dan biru mempunyai keamatan yang sama dalam ruang RGB, dan dengan itu hanya perlu menentukan satu nilai keamatan untuk setiap piksel, seperti yang berlawanan kepada tiga nilai keamatan diperlukan untuk menentukan setiap piksel dalam imej warna penuh [17].

Pada kebiasaannya, keamatan paras kelabu yang disimpan sebagai satu integer 8-bit memberikan 256 paras kecerahan yang berbeza daripada hitam ke putih dengan paras 0 mewakili hitam dan paras 255 pula mewakili putih seperti yang digambarkan dalam **Rajah 2.1** [11].



Rajah 2.1 Julat kecerahan piksel dalam imej paras kelabu

Imej-imej paras kelabu biasa digunakan, sebahagiannya disebabkan oleh kebanyakan perkakasan penangkapan dan paparan imej hanya mampu menyokong imej 8-bit. Sebagai tambahan, imej paras kelabu pada keseluruhannya adalah mencukupi untuk kebanyakan tugas dan dengan itu tidak perlu untuk menggunakan proses yang lebih kompleks dan sukar untuk imej warna. Kesemua imej yang digunakan dalam projek ini mempunyai format peta-bit (*bitmap*).

2.4 Pemrosesan Imej Digital

Pemrosesan imej digital menekankan transformasi sesuatu imej kepada format digital dan pemrosesannya adalah dengan menggunakan komputer digital. Analisis imej digital adalah berhubungkait dengan perihalan dan pengecaman imej digital. Pemrosesan imej digital dan teknik penglihatan komputer (*computer vision*) mempunyai tiga peringkat yang berlainan [18] :

- Penglihatan peringkat rendah – pada dasarnya, algoritma yang digunakan adalah algoritma pemrosesan imej digital. Masukan dan keluaran adalah imej digital

- Penglihatan peringkat pertengahan – algoritma menggunakan imej digital sebagai masukan dan perwakilan simbolik peringkat rendah imej sebagai keluaran
- Penglihatan peringkat tinggi – algoritma adalah perwakilan simbolik untuk masukan dan keluaran serta sangat berhubungkait dengan kecerdikan buatan dan pengecaman corak

2.4.1 Pemrosesan

Suatu imej boleh ditukarkan kepada isyarat elektrik secara langsung atau direkodkan secara fotograf (iaitu gambar) [8]. Secara matematik, suatu gambar didefinisikan oleh fungsi $f(x, y)$ yang terdiri daripada dua pembolehubah yang menunjukkan koordinat pada imej. Nilai ini adalah perwakilan kecerahan. Paras kelabu merupakan peringkat yang dilalui daripada putih ke hitam dan masing-masing mempunyai nilai perwakilan yang nyata dan bukan nilai negatif.

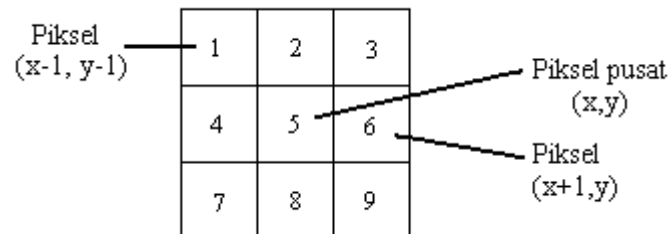
Proses pensampelan diperlukan apabila suatu gambar didigitalkan untuk mengekstrak satu set nombor nyata daripada gambar tersebut. Sampel yang diambil adalah nilai paras kelabu yang diperoleh daripada cebisan gambar yang dipisahkan secara seragam. Sampel tersebut kemudiannya akan dikuantumkan kepada satu set nilai paras kelabu yang diskret.

Proses pensampelan dan pengkuantuman ini akan menghasilkan imej digital. Pemrosesan yang seterusnya akan menganggap imej digital sebagai satu tatasusunan segiempat yang mengandungi nilai integer.

2.4.2 Tetingkap

Tetingkap (*window*) $n \times n$ sering digunakan dalam pemrosesan imej digital. Saiz tetingkap adalah bolehubah dan bergantung kepada algoritma yang digunakan.

Pada kebiasaannya tetingkap adalah bersaiz ganjil iaitu n adalah integer ganjil. Suatu tetingkap bersaiz 3×3 adalah seperti **Rajah 2.2**.



Rajah 2.2 Tetingkap Bersaiz 3×3

Apabila algoritma yang melibatkan penggunaan suatu tetingkap $n \times n$, operasi tersebut akan dilakukan terhadap kesemua piksel yang terletak dalam tetingkap tersebut untuk menjanakan keluaran bagi piksel pusat (x,y) . Sebagai contoh bagi tetingkap bersaiz 3×3 , kesemua piksel yang mengelilingi piksel pusat, iaitu piksel 5 akan terlibat dalam proses menghasilkan nilai keluaran bagi piksel 5. Selepas nilai keluaran telah dikira bagi piksel 5, tetingkap tersebut akan dianjak ke kanan sebanyak satu piksel dan kini tetingkap 3×3 yang sama akan mempunyai piksel $(x+1,y)$ sebagai pusat baru dan proses yang sama akan dilakukan bagi menjanakan keluaran bagi piksel $(x+1,y)$. Proses ini akan diulang dan dengan itu, keseluruhan imej dapat diproses.

2.5 Tujuan Pemrosesan Imej

Pemrosesan imej boleh dikatakan sebagai manipulasi gambar atau imej-imej oleh komputer termasuk mendapatkan dan memaparkan imej-imej tersebut. Untuk menghasilkan pemrosesan imej dengan keupayaan penglihatan manusia, pengaburan (*blurring*) imej diperlukan. Proses pengaburan akan menghasilkan kesan kabur pada imej dan akan diimplementasi secara serentak menggunakan beberapa *kernel* dengan saiz berlainan pada satu-satu masa pemrosesan imej.

Operasi-operasi yang biasa dilakukan ke atas imej untuk tujuan pemrosesan imej adalah:

- Menjadikan imej-imej lebih jelas
- Melicinkan bintik-bintik, kekasaran atau hingar di dalam imej
- Memperbaiki kecerahan dan keamatan imej semasa memaparkannya
- Menghasilkan kesan kabur pada imej
- Mengurangkan kesan hingar yang terdapat pada imej
- Membahagikan imej mengikut segmen kepada bahagian-bahagian seperti garisan objek atau latar belakang.
- Memperbesarkan, mengecilkan atau memusingkan imej
- Mengekod imej ke dalam bentuk yang lebih berkesan untuk penyimpanan dalam ingatan komputer

Dalam projek ini, teknik pemrosesan imej yang digunakan adalah untuk menghasilkan kesan pengaburan dalam kawasan piksel yang berlainan dan akan ditunjukkan dengan lebih jelas apabila jarak daripada koordinat titik tengah meningkat. Ini adalah satu implementasi sistem penglihatan di mana tahap ketajaman adalah berbeza mengikut jarak pandangan pada titik fokus. Pengubahsuaian yang dilakukan ke atas imej adalah proses yang berasaskan penurasan purata yang ditopengkan dengan menggunakan saiz *kernel* yang berbeza.

2.6 Teknik-Teknik Memanipulasi Imej Digital

Manipulasi imej digital merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menerangkan pengubahsuaian yang dilakukan terhadap sesuatu imej bagi mencapai tujuan sesuatu algoritma. Secara umumnya, algoritma-algoritma yang diimplementasikan antara lain adalah bagi mencapai tujuan-tujuan berikut :

- i. Menjadikan imej-imej lebih jelas.
- ii. Memperbaiki kecerahan dan keamatan imej semasa memaparkannya.

- iii. Membahagikan imej mengikut segmen kepada bahagian-bahagian seperti bahagian objek atau latar belakang.
- iv. Mengekod imej ke dalam bentuk yang lebih berkesan untuk tujuan pengstoran.

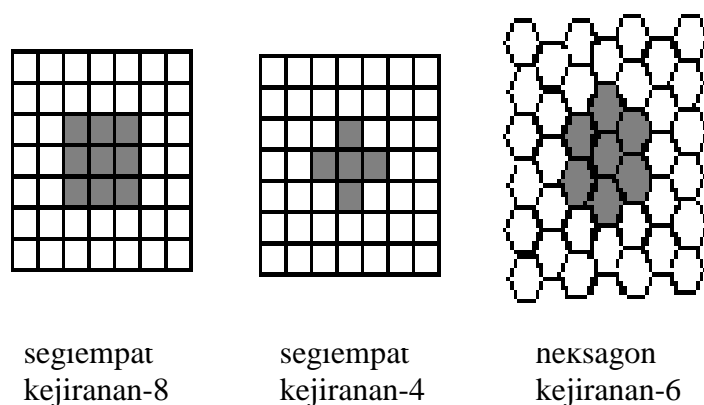
Teknik memanipulasikan imej bermula dengan pemahaman lokasi dan sifat kejiranan piksel. Konsep penyambungan piksel menerangkan perhubungan di antara dua atau lebih piksel. Bagi dua piksel disambungkan, kedua-duanya perlu memenuhi keadaan tertentu terhadap kecerahan piksel dan ruang saling bersebelahan. Untuk memformulasikan kriteria saling bersebelahan bagi penyambungan, konsep kejiranan mestilah diperjelas dahulu. Bagi satu piksel p dengan koordinat (x,y) , set piksel diberikan oleh :

$$N_4(p) = \{(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)\} \tag{2.1}$$

Persamaan (2.1) [13] menunjukkan kejiranan-4 bagi piksel p manakala kejiranan-8 pula adalah seperti dalam persamaan (2.2) [13] di bawah.

$$N_8(p) = N_4 \cup \{(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)\} \tag{2.2}$$

Sifat dan corak kawasan kejiranan adalah seperti dalam **Rajah 2.3** [7].



Rajah 2.3 Sifat dan corak kawasan kejiranan

2.6.1 Pemrosesan Pikel

Terdapat empat jenis algoritma pemrosesan imej yang berbeza, iaitu [6]:

1. **Pemrosesan titik** yang mengubahsuai nilai piksel di dalam imej dengan hanya berdasarkan nilai asal pikselnya dan menempatkan diri di antara imej.
2. **Pemrosesan ruang** yang mengubahsuai nilai piksel bergantung kepada nilai piksel sebenar dan nilai bagi piksel-piksel di persekitarannya.
3. **Pemrosesan bingkai** yang mengubahsuai nilai piksel sesuatu imej berasaskan kepada nilai piksel yang wujud di dalam satu atau lebih imej yang lain.
4. **Pemrosesan geometri** yang mengubahsuai susunan atau kedudukan piksel pada suatu imej berdasarkan kepada kaedah penukaran geometri.

1. Pemrosesan Titik

Teknik pemrosesan titik merupakan asas kepada operasi dalam pemrosesan imej digit. Nilai piksel di dalam imej akan diubahsuai bergantung sepenuhnya kepada nilai piksel itu sendiri. Nilai piksel akan digantikan oleh nilai baru berdasarkan nilai asal piksel tersebut.

Hubungan ruang (*spatial relationship*) pada imej tidak berubah selepas pemrosesan titik. Jadi, maklumat yang terdapat pada imej juga tidak akan berubah.

2. Pemrosesan Ruang

Teknik pemrosesan ruang menggunakan sekumpulan piksel pada imej untuk memperoleh maklumat mengenai imej tersebut. Kumpulan piksel ini adalah kejiranan (*neighbourhood*). Jiran selalunya dirujuk sebagai matrik dua dimensi yang

terdiri daripada nilai piksel dengan setiap dimensi mempunyai satu elemen nombor ganjil. Piksel yang dikehendaki berada di tengah-tengah kesemua piksel jiran.

Proses pengiraan yang biasa digunakan untuk teknik pemrosesan ruang ialah min, varians dan konvolusi. Contoh-contoh penuras ruang ialah penuras laluan rendah, penuras laluan tinggi, penuras pelicin, penuras penajam dan penuras purata.

3. Pemrosesan Geometri

Teknik pemrosesan geometri akan mengubah susunan atau kedudukan piksel-piksel di dalam sesuatu imej. Susunan dan kedudukan piksel boleh diubah melalui teknik pembesaran dan pemutaran imej. Sesuatu imej mungkin akan memberikan maklumat tambahan setelah ia melalui kaedah penukaran geometri.

4. Pemrosesan Bingkai

Teknik pemrosesan bingkai mengubah nilai piksel di dalam sesuatu imej berdasarkan kepada nilai piksel yang wujud di dalam satu atau lebih imej yang lain. Pada kebiasaannya, teknik ini akan menggunakan dua imej sebagai input iaitu salah satu imej sebagai rujukkan dan satu lagi untuk diubahsuai[4].

2.6.2 Konvolusi

Konvolusi (*convolution*) adalah satu operasi matematik mudah yang merupakan asas kepada kebanyakan operasi biasa pemrosesan imej. Konvolusi membenarkan satu cara pendaraban bersama (*multiplying together*) dua tatasusunan nombor, lazimnya berlainan saiz, tetapi bersamaan dimensi, untuk menghasilkan tatasusunan nombor ketiga dengan dimensi yang sama. Ini boleh digunakan dalam pemrosesan imej untuk implementasi operasi yang mempunyai nilai piksel keluaran dengan kombinasi linear terhadap nilai piksel masukan [13].

Dalam konteks pemrosesan imej, salah satu daripada tatasusunan masukan hanya satu imej paras kelabu. Tatasusunan kedua biasanya lebih kecil, dan merupakan juga dua dimensi, dan dikenali sebagai *kernel*. *Kernel* adalah segiempat kecil nombor-nombor yang digunakan dalam konvolusi imej. *Kernel* dengan saiz yang berbeza mengandungi corak nombor yang berbeza yang akan menyebabkan hasil konvolusi yang berbeza.

Sebagai contoh, **Rajah 2.4** menunjukkan *kernel* 3 x 3 yang melaksanakan satu penuras purata dengan Y adalah set titik koordinat.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

$$Y = \left\{ \begin{array}{ccc} (-1,-1) & (0,-1) & (1,-1) \\ (-1,0) & (0,0) & (1,0) \\ (-1,1) & (0,1) & (1,1) \end{array} \right\}$$

Rajah 2.4 *Kernel* konvolusi untuk penuras purata kejiranan 3 x 3

Konvolusi ialah suatu keputusan jumlah pendaraban di antara data imej I x I dengan fungsi kernel K x K. Konsep ini diilustrasikan melalui suatu contoh yang menggunakan *kernel* 3 x 3 yang ditengahkan (ditopengkan) pada titik I₅ seperti yang ditunjukkan oleh **Rajah 2.5**.

I ₁	I ₂	I ₃
I ₄	I ₅	I ₆
I ₇	I ₈	I ₉

K ₁	K ₂	K ₃
K ₄	K ₅	K ₆
K ₇	K ₈	K ₉

Data imej

Kernel

Rajah 2.5 Konvolusi fungsi *kernel* 3 x 3 pada titik I₅

Keputusan konvolusi antara data imej dan fungsi *kernel* diberikan oleh persamaan (2.3).

$$I_5 = I_1K_1 + I_2K_2 + I_3K_3 + \dots + I_9K_9 \quad (2.3)$$

Proses konvolusi ini telah mengubah nilai I_5 . Namun demikian, nilai asal I_5 masih diperlukan untuk memproses konvolusi pada titik lain. Maka teknik pemrosesan bingkai digunakan untuk mengekalkan nilai asal setiap piksel dalam imej asal [8].

2.10 Penutup

Bab ini membincangkan teori asas pemrosesan imej digital yang merupakan tunjang utama di sebalik pembangunan perisian bagi projek ini. Pengukuhan yang diperoleh daripada bab ini dapat membantu proses pemahaman konsep-konsep penting pemrosesan imej digit yang digunakan bersama algoritma-algoritma yang akan dijelaskan dalam Bab 4 nanti.

BAB 3

SISTEM PEMBANGUNAN PERISIAN

3.1 Pendahuluan

Perkembangan pesat dunia pengkomputeran pada masa kini telah menyebabkan terdapat pelbagai sistem perisian di pasaran yang telah dibangunkan dengan aplikasi yang tertentu untuk kemudahan pengguna. Perisian yang telah digunakan dalam pelaksanaan projek ini adalah *Borland C++ Builder v5.0*. *Borland C++ Builder* merupakan pengaturcaraan visual untuk tujuan Pembangunan Aplikasi Pantas (*Rapid Application Development*) yang berorientasikan objek. Bahasa pengaturcaraan yang digunakan adalah C++ yang dikeluarkan oleh *Borland*. Dengan menggunakan *C++ Builder*, aplikasi tettingkap (*Window*) yang mesra pengguna (*user friendly*) boleh dihasilkan dengan penggunaan pengekodan manual yang minimum.

3.2 Pengenalan Kepada *Borland C++ Builder v5.0*

Sesebuah komputer peribadi yang hendak dilengkapi dengan perisian ini perlu mempunyai sekurang-kurangnya pemproses mikro Pentium dengan 90MHz, *Microsoft Window 95/98* atau *Window NT 4.0*, ruang cakera keras (*hard disk*) dalam lingkungan 5GB hingga 6GB atau lebih dan ingatan capaian rawak (RAM) sebanyak 32MB.

Borland C++ Builder merupakan sejenis persekitaran pembinaan bersepadu (*Integrated Development Environment*) atau *IDE* yang menggunakan bahasa pengaturcaraan C++ sebagai bahasa pengaturcaraan asas yang melibatkan objek yang berorientasi (*Object Oriented Programming, OOP*). Sistem *IDE* ini mempunyai perpustakaan komprehensif yang mengandungi komponen, objek dan peralatan yang boleh diguna semula untuk tujuan rekabentuk Pembangunan Aplikasi Pantas (*RAD*), termasuklah templet bagi aplikasi dan borang (*form*), serta pembantu pengaturcaraan