

KAEDAH PENGGABUNGAN PENORMALAN DAN
KEMUDI KEJIRANAN SETEMPAT UNTUK
PERDUAAN IMEJ

FAUZIAH BINTI KASMIN

UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA

KAEDAH PENGGABUNGAN PENORMALAN DAN KEMUDI KEJIRANAN
SETEMPAT UNTUK PERDUAAN IMEJ

FAUZIAH BINTI KASMIN

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEHI
IJAZAH DOKTOR FALSAFAH

FAKULTI TEKNOLOGI DAN SAINS MAKLUMAT
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2018

PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

02 April 2018

FAUZIAH BINTI KASMIN
P49986

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah S.W.T tuhan sekalian alam. Selawat dan salam ke atas junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W. Syukur kehadiranNya, dengan izinNya saya dapat menyempurnakan tesis ini. Cabaran dan dugaan yang datang bukan sedikit. Alhamdulillah, terima kasih Ya Allah S.W.T. atas pemberianMu.

Jutaan terima kasih diucapkan dan penghargaan yang tidak terhingga ditujukan khas kepada penyelia saya, Prof. Madya Dr. Azizi Abdullah kerana banyak mencurahkan ilmu, bantuan, tunjuk ajar dan saranan dari awal hingga ke peringkat akhir tesis saya ini. Terima kasih juga penyelia bersama saya Prof. Dr Anton Satria Prabuwono yang telah mengajar, berkongsi ilmu dan memberi sokongan. Saya berdo'a semoga segala kebaikan yang tidak ternilai yang dicurahkan kepada saya akan dibalas dengan ganjaran kebaikan demi kebaikan dari Allah S.W.T kepada mereka baik di dunia mahupun di akhirat kelak.

Buat Abah dan Emak, Kasmin bin Kadar dan Salamah binti Md Jailani, terima kasih kepada kalian yang tidak lekang berdoa yang terbaik buat anakanda. Buat suami saya yang tercinta Norzamree Din dan permata-permata hati saya Nurhaifa Nabilah dan Muhammad Hafiz Naim, terima kasih atas kesabaran, pengorbanan, doa, sokongan dan kasih sayang yang selama ini menjadi ilham dan motivasi hidup saya.

Tidak ketinggalan juga kepada rakan-rakan sekerja yang sama-sama memberikan tunjuk ajar, pandangan, dan berkongsi pengalaman kajian.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat (FTSM), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) yang memberikan kemudahan dan persekitaran kajian yang terbaik. Tidak lupa juga kepada Kementerian Pengajian Tinggi kerana menganugerahkan biasiswa dan Universiti Teknikal Malaysia Melaka (UTeM) kerana menganugerahkan cuti belajar.

Akhir sekali, ucapan setinggi-tinggi penghargaan juga kepada Fakulti Teknologi Maklumat dan Komunikasi (FTMK), UTeM atas sokongan padu yang diberikan ketika dalam proses pembelajaran.

ABSTRAK

Perduaan imej adalah salah satu tema penyelidikan dalam pemprosesan imej dan ianya merupakan satu kaedah pra-pemprosesan penting dalam pengecaman imej. Kaedah perduaan akan menukarkan sesuatu imej kepada imej perduaan yang terdiri daripada hanya dua kelas, iaitu latar hadapan dan latar belakang. Kaedah perduaan ini boleh dilakukan dengan menggunakan pendekatan pelakuran kandungan imej. Prosedur mudah perduaan imej ini telah menjadi satu tugas yang sangat mencabar bagi kaedah Otsu apabila kaedah ini menghasilkan nilai ambangan yang cenderung terhadap komponen kelas yang mempunyai varians yang lebih besar. Ini menyebabkan pengelasan piksel yang salah dan keputusan perduaan imej menjadi kurang tepat. Kaedah perduaan secara terselia menggunakan pengetahuan awal sesuatu imej untuk membahagikan mereka kepada kawasan-kawasan bagi piksel yang berhubungan. Piksel-piksel kejiranan adalah merupakan pengetahuan awal yang boleh digunakan untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran kerana mereka selalunya berkongsi sifat yang sama dan mempunyai hubungan yang kuat antara satu sama lain. Walau bagaimanapun, kedudukan piksel kejiranan yang sedia ada tidak sensitif dan tidak dapat mengesan fitur-fitur beraras rendah yang wujud dalam pelbagai orientasi. Disebabkan masalah-masalah ini, maka kajian ini mengandungi tiga objektif: pertama adalah untuk mencadangkan satu algoritma menggunakan gabungan kaedah penormalan (GKN). Kaedah penormalan menukarkan nilai aras kelabu yang sedia ada kepada nilai aras kelabu yang kurang julat fiturnya. Oleh itu variasi dalam nilai aras kelabu dapat dikurangkan dan dominasi sesuatu nilai aras kelabu dapat dielakkan. Dengan menggunakan teknik penormalan, penghasilan nilai ambangan yang lebih stabil dan kurang cenderung terhadap komponen kelas dapat dihasilkan. Kedua, adalah untuk mencadangkan algoritma perduaan terselia dengan menggunakan gabungan kemudi kejiranan setempat (GKKS) untuk mewakili sesuatu piksel. GKKS menggabungkan lapan kemudi kejiranan setempat (KKS) dan kekuatan dan kelemahan bagi setiap orientasi akan dilengkapi antara satu sama lain dengan penggabungan orientasi-orientasi ini. Objektif ketiga adalah mencadangkan satu algoritma untuk menentukan pemberat bagi GKKS dengan menggunakan kaedah dekomposisi QR (GKKS-QR) supaya pemberat setiap orientasi dapat dioptimumkan. Kajian dilaksanakan dengan menggunakan dua jenis imej iaitu imej retina dan imej dokumen dari pangkalan data piawai iaitu DRIVE, STARE, DIBCO2009 dan DIBCO2011. Keputusan uji kaji I menunjukkan algoritma yang dicadangkan dapat meningkatkan purata ketepatan yang lebih tinggi iaitu 94.59% untuk imej retina dan 97.18% untuk imej dokumen. Kaedah yang dicadangkan dalam uji kaji II juga dapat meningkatkan purata ketepatan yang lebih tinggi iaitu 93.28% untuk imej retina dan 97.05% untuk imej dokumen. Keputusan uji kaji III menunjukkan algoritma yang menggunakan kaedah dekomposisi QR dapat meningkatkan purata ketepatan yang lebih tinggi iaitu 93.76% dan 97.47% untuk imej retina dan dokumen masing-masing. Ujian statistik telah dilakukan dan keputusannya menunjukkan ketiga-tiga algoritma yang dicadangkan adalah lebih baik secara signifikan dengan nilai- p adalah lebih rendah pada aras keyakinan 0.05 bagi kedua-dua jenis imej berbanding dengan teknik yang sedia ada. Impak daripada kajian ini membolehkan ketepatan perduaan meningkat dan proses pengecaman imej dapat dilakukan dengan lebih efektif.

ENSEMBLE OF NORMALIZATION AND STEERABLE LOCAL NEIGHBOURHOOD METHODS FOR IMAGE BINARIZATION

ABSTRACT

Image binarization is an essential research theme in image processing and a crucial pre-processing method in image recognition. A binarization method will convert images into binary images consisting of only two classes, namely foreground and background. Binarization process can be done by using fusion of image content approach. This simple procedure of image binarization has proven to be a very challenging task for Otsu method when this method produce threshold value that bias towards class component with higher variance. This will make wrong classification of certain pixels and yield lower accuracy of image binarization. Supervised image binarization methods use the initial knowledge of an image to divide them into areas for connected pixels. Neighborhood pixels are the initial knowledge that can be used for the representation of a target pixel because they often share the same traits and have strong relationships with one another. However, the existing neighborhood pixel position is insensitive and can not detect the low-level features that exist in multiple orientations. Due to these problems, this study has three objectives: the first is to propose an algorithm using an ensemble of normalization methods (ENM). The normalization method converts the existing gray level values into gray features that are less feature-wide. Therefore, the variation in gray level values can be reduced and the domination of certain gray level values can be avoided. By using normalization techniques, the production of threshold value that less bias towards class component with higher variance can be generated. Second, is to propose a supervised binarization algorithm by using ensemble of steerable local neighbourhood (ESLN) to represent a particular pixel. ESLN will combine eight orientations of steerable local neighbourhood (SLN) information and the strengths and weaknesses of each orientation can complement each other by combining these orientations. Third objective is to propose an algorithm for determining weights for ESLN by using QR decomposition method (ESLN-QR) so that the weights for each orientation can be optimized. The research have been done by using two types of images that are retinal and document images from standard databases DRIVE, STARE, DIBCO2009 and DIBCO2011. The results of the experiment I have shown that the proposed algorithm can increase the average of accuracy that is 94.59% for retina images and 97.18% for document images. The proposed algorithm in experiment II have increased the average of accuracy that is 93.28% for retina images and 97.05% for document images. The results of the experiment III have shown that the proposed algorithm that have used QR decomposition method can increase the average accuracy that is 93.76% and 97.47% for retina and document images respectively. Statistical test have been done and the results show that all three proposed algorithms have improved the average accuracy of binarization significantly with p -values are lower than level of significance 0.05 for both types of images compared to existing techniques. The impact of this research enable the accuracy of binarization to increase and hence, image recognition process can be done effectively.

KANDUNGAN

	Halaman
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	x
SENARAI SINGKATAN	xx
DAFTAR ISTILAH	xxii
BAB I PENGENALAN	
1.1 Latar Belakang Kajian	1
1.2 Latar Belakang Masalah	12
1.3 Penyataan Masalah	17
1.4 Objektif Kajian	19
1.5 Kerangka Teori	20
1.6 Kepentingan Kajian	21
1.7 Skop Kajian	22
1.8 Struktur Organisasi Tesis	23
BAB II KAJIAN LITERATUR	
2.1 PERDUAAN	26
2.1.1 Perduaan Secara Tidak Terselia	27
2.1.2 Pengambangan Global	29
2.1.3 Kaedah Otsu	32
2.1.4 Kaedah Ralat Minimum	39
2.1.5 Kaedah Entropi Kapur	40
2.1.6 Pengambangan Tempatan	41
2.2 Penormalan Fitur	44
2.2.1 Kaedah-Kaedah Penormalan	46
2.3 Kaedah Operasi Morfologi	53
2.4 Perduaan Secara Terselia	56
2.4.1 Fitur	64
2.4.2 Pengelasan Fitur	65

	2.4.3	Pengelas Mesin Sokongan Vektor (PMSV)	66
2.5		Kejiranan	69
2.6		Penapis Kemudi	71
2.7		Gabungan	74
	2.7.1	Pengundian Majoriti	77
	2.7.2	Peraturan Penambahan	78
	2.7.3	Peraturan Pendaraban	79
	2.7.4	Peraturan Purata	79
2.8		Pembinaan Model Linear Berasaskan Kaedah Dekomposisi QR	80
	2.8.1	Kaedah Dekomposisi QR	82
2.9		KESIMPULAN	85
BAB III		METODOLOGI KAJIAN	
3.1		Pengenalan	86
3.2		Kaedah Kajian	86
	3.2.1	Kerangka Kajian	86
3.3		Kerangka Kerja Kajian	90
3.4		Rekabentuk Uji Kaji	94
	3.4.1	Uji Kaji I	94
	3.4.2	Uji Kaji II	95
	3.4.3	Uji Kaji III	96
3.5		Penilaian Prestasi	97
	3.5.1	Ketepatan	97
	3.5.2	Ralat Pengelasan	97
	3.5.3	Ralat Punca Purata Kuasa Dua	98
	3.5.4	Ukuran- F	98
3.6		Pangkalan Data	99
	3.6.1	Pangkalan Data <i>Digital Retinal Images For Vessel Extraction</i> (DRIVE)	99
	3.6.2	Pangkalan Data <i>Structured Analysis Of The Retina</i> (STARE)	101
	3.6.3	Pangkalan Data <i>Document Image Binarization Contest 2009</i> (DIBCO2009)	101
	3.6.4	Pangkalan Data <i>Document Image Binarization Contest 2011</i> (DIBCO2011)	102
3.7		Pra Pemprosesan	103
	3.7.1	Penapis <i>Gaussian</i>	105
	3.7.2	Penajaman	106
	3.7.3	Peningkatan Kontras	107

3.8	Alatan Kajian	108
3.9	kesimpulan	109
BAB IV	PELAKURAN KAEDAH PENORMALAN DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN GABUNGAN	
4.1	Pengenalan	110
4.2	Gabungan Kaedah Penormalan (GKN)	112
4.2.1	Varians Maksimum	115
4.2.2	Pengundian Majoriti	115
4.2.3	Peraturan Pendaraban	116
4.2.4	Peraturan Penambahan	116
4.2.5	Peraturan Purata	117
4.3	KESIMPULAN	122
BAB V	PELAKURAN KEMUDI KEJIRANAN SETEMPAT BERSELIA MENGGUNAKAN PENDEKATAN GABUNGAN	
5.1	Pengenalan	124
5.2	Gabungan Kemudi Kejiranan Setempat (GKKS)	125
5.3	Kesimpulan	146
BAB VI	PENGELAS GABUNGAN BERPEMBERAT MENGGUNAKAN KAEDAH DEKOMPOSISI QR	
6.1	Pengenalan	147
6.2	Gabungan Kemudi Kejiranan Setempat Berasaskan Kaedah Dekomposisi QR (GKKS-QR)	148
6.3	Kesimpulan	152
BAB VII	KEPUTUSAN UJI KAJI	
7.1	Pengenalan	153
7.1.1	Keputusan Uji Kaji I	153
7.1.2	Keputusan Uji Kaji II	164
7.1.3	Keputusan Uji Kaji III	175
7.2	Kesimpulan	182
BAB VIII	KESIMPULAN DAN KAJIAN HADAPAN	
8.1	PENGENALAN	183
8.2	Dapatan Kajian	183

8.2.1	Mencadangkan Penghasilan Nilai Ambangan Yang Lebih Stabil Dan Kurang Cenderung Kepada Kelas Yang Mempunyai Varians Yang Lebih Besar Bagi Kaedah Otsu (1979) Dengan Menggunakan Algoritma Gabungan Kaedah Penormalan (GKN).	183
8.2.2	Mencadangkan Kedudukan Pikel Kejiranan Sesuatu Pikel Sasaran Bagi Perduaan Secara Terselia Yang Lebih Sensitif Terhadap Fitur Beraras Rendah Dengan Menggunakan Algoritma Gabungan Kemudi Kejiranan Setempat (GKKS).	184
8.2.3	Mencadangkan Penentuan Pemberat Bagi Setiap KKS Dengan Menggunakan Algoritma Gabungan Kemudi Kejiranan Setempat Berasaskan Kaedah Dekomposisi QR (GKKS-QR).	185
8.3	Sumbangan Kajian	185
8.4	Cadangan Perluasan Kajian	187
8.5	Rumusan	187
RUJUKAN		188
Lampiran A	Senarai Penerbitan	201
Lampiran B	Kod Pseudo	202
Lampiran C	Pencarian Parameter Bagi Fungsi Radial Basis	202

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
Jadual 1.1	Ringkasan pernyataan masalah dan objektif dalam kajian yang dilakukan.	19
Jadual 2.1	Kajian peningkatan kaedah Otsu (1979) dan ukuran prestasi yang digunakan.	39
Jadual 2.2	Penyelidikan kaedah pengembangan tempatan.	42
Jadual 2.3	Kajian-kajian yang menggunakan kaedah perduaans terselia dan ukuran prestasi yang digunakan.	62
Jadual 3.1	Bahasa Pengaturcaraan yang digunakan bagi setiap kerangka kerja dan set data.	108
Jadual 5.1	Ketepatan perduaans bagi setiap imej latihan dengan menggunakan gabungan naif.	131
Jadual 5.2	Ketepatan perduaans bagi setiap imej latihan dengan menggunakan gabungan naif.	132
Jadual 5.3	Ketepatan perduaans bagi setiap imej latihan dengan menggunakan Peraturan Penambahan Berpemberat dan Penambahan Tanpa Pemberat.	135
Jadual 7.1	Jenis, bilangan imej dan bilangan larian untuk uji kaji I.	154
Jadual 7.2	Purata ketepatan dan pemberat yang diberi kepada setiap kaedah penormalan yang digunakan.	155
Jadual 7.3	Keputusan purata ketepatan uji kaji 50 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah Otsu (1979) dan kaedah GKN.	156
Jadual 7.4	Keputusan purata ralat pengelasan uji kaji 50 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah Otsu (1979) dan kaedah GKN.	156
Jadual 7.5	Keputusan purata ralat purata punca kuasa dua uji kaji 50 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah Otsu (1979) dan kaedah GKN.	157
Jadual 7.6	Keputusan purata ukuran- F kaedah GKN, kaedah Otsu (1979), kaedah Sauvola & Pietikainen (2000), kaedah Niblack (1985), kaedah ralat minimum (Kittler & Illingworth 1986), kaedah entropi silang minimum (Li & Leet 1993), kaedah Farrahi &	

	Cheriet (2012) dan kaedah Vats et al. (2017) bagi DIBCO2009 dan DIBCO2011.	158
Jadual 7.7	Jenis, bilangan imej dan bilangan larian untuk uji kaji II.	164
Jadual 7.8	Purata ketepatan dan kedudukan bagi set data latihan yang diberikan untuk setiap KKS.	166
Jadual 7.9	Purata ketepatan bagi setiap KKS	167
Jadual 7.10	Keputusan purata ketepatan uji kaji 50 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah KKS, Sampe et al. (2011), Kefali et al. (2014), PTP dan GKKS.	168
Jadual 7.11	Keputusan purata ralat pengelasan uji kaji 50 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah KKS, Sampe et al. (2011), Kefali et al. (2014), PTP dan GKKS.	169
Jadual 7.12	Keputusan purata ralat purata punca kuasa dua uji kaji 50 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah KKS, Sampe et al. (2011), Kefali et al. (2014), PTP dan GKKS.	169
Jadual 7.13	Keputusan purata ukuran- F uji kaji 50 larian DATA_DOKUMEN bagi kaedah KKS, Sampe et al. (2011), Kefali et al. (2014), PTP dan GKKS.	170
Jadual 7.14	Jenis, bilangan imej dan bilangan larian untuk uji kaji III.	176
Jadual 7.15	Keputusan purata ketepatan uji kaji 100 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah PTP, GKKS dan GKKS-QR.	177
Jadual 7.16	Keputusan purata ralat pengelasan uji kaji 100 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah PTP, GKKS dan GKKS-QR.	178
Jadual 7.17	Keputusan purata ralat purata punca kuasa dua uji kaji 100 larian DATA_RETINA dan DATA_DOKUMEN bagi kaedah PTP, GKKS dan GKKS-QR.	178
Jadual 7.18	Keputusan purata ukuran- F uji kaji 100 larian DATA_DOKUMEN bagi kaedah PTP, GKKS dan GKKS-QR.	178

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah		Halaman
Rajah 1.1	Antara contoh-contoh imej retina yang bermasalah dari pangkalan data DRIVE dan STARE (a) im0002.ppm (b) im0324.ppm (c) 03_test.tif (d) 07_test.tif	3
Rajah 1.2	Antara contoh-contoh imej dokumen yang bermasalah dari pangkalan data DIBCO2009 iaitu (a) H04.bmp (b) P04.bmp dan DIBCO2011 iaitu (c) HW1.png (d) HW4.png.	5
Rajah 1.3	Rangka kerja teknik perduaan.	7
Rajah 1.4	Imej retina dan imej perduaan yang diperolehi dari kaedah Otsu (1979) sebelum dilakukan pra pemprosesan (a) Imej retina asal (b) Imej aras kelabu yang tidak dilakukan pra pemprosesan (c) Histogram bagi imej aras kelabu (d) Imej yang terhasil setelah diaplikasikan dengan kaedah pengambangan global iaitu kaedah Otsu (1979).	8
Rajah 1.5	Imej retina dan imej perduaan yang diperolehi dari kaedah Otsu (1979) setelah dilakukan pra pemprosesan (a) Imej retina asal (b) Imej yang telah dilakukan pra pemprosesan (c) Histogram bagi imej aras kelabu (d) Imej yang terhasil setelah di aplikasikan dengan kaedah pengambangan global Otsu (1979).	9
Rajah 1.6	Imej yang dilakukan proses penormalan (a) Imej aras kelabu telah diaplikasikan dengan teknik penormalan (b) Histogram bagi imej aras kelabu (a).	10
Rajah 1.7	Proses penormalan dan perduaan bagi imej rice.png (a) – (c) Imej aras kelabu rice.png, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979), (d) – (f) Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan L1-Norm, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979), (g) – (i) Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan L1-Sqrt, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979), (j) – (l) Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan L2-Norm, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979).	11
Rajah 1.8	Masalah bagi kaedah Otsu (1979) dalam pengambangan (a) imej asal (b) imej kesahihan asal (c) imej perduaan yang terhasil dengan menggunakan kaedah Otsu (1979) (d) histogram dan nilai ambangan. (Sumber: (Ng 2006)).	14
Rajah 1.9	4-kejiranan piksel yang digunakan oleh penyelidik Sampe et al. (2011).	16

Rajah 1.10	8-kejiranan piksel yang digunakan oleh penyelidik Kefali et al.(2014).	16
Rajah 1.11	Kerangka teori yang digunakan.	21
Rajah 2.1	Perduaan menggunakan algoritma Otsu (1979) (a) Imej aras kelabu (b) Imej perduaan yang terhasil.	31
Rajah 2.2	Perduaan menggunakan algoritma ralat minimum (Kittler & Illingworth 1986) (a) Imej aras kelabu (b) Imej perduaan yang terhasil.	31
Rajah 2.3	Perduaan menggunakan algoritma Sauvola (a) Imej aras kelabu (b) Imej perduaan yang terhasil.	44
Rajah 2.4	Penghuraian piksel c dengan menggunakan nilai aras kelabu 4-kejiranan (sumber: (Sampe et al. 2011)).	59
Rajah 2.5	MLP untuk pengelasan piksel p yang berdasarkan nilai aras kelabu dan kejirannya bagi tettingkap 3 x 3 beserta nilai purata (M) dan sisihan piawai (S) bagi keseluruhan imej. (sumber: (Kefali et al. 2014)).	61
Rajah 2.6	Idea utama algoritma PMSV.	67
Rajah 2.7	Contoh kejiranan iaitu 4-kejiranan dan 8-kejiranan.	69
Rajah 2.8	Contoh penapis kemudi dengan sudut θ .	72
Rajah 2.9	Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L1-Norm dan histogram.	75
Rajah 2.10	Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L1-Sqrt dan histogram.	75
Rajah 2.11	Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L2-Norm dan histogram.	76
Rajah 2.12	Perwakilan grafik bagi penyelesaian masalah kuasa dua terkecil.	83
Rajah 3.1	Kerangka Kajian.	87
Rajah 3.2	Kerangka kerja kajian bagi objektif 1 iaitu cadangan gabungan kaedah penormalan (GKN).	91
Rajah 3.3	Kerangka kerja kajian bagi objektif 2 dan 3 iaitu cadangan gabungan KKS dan cadangan penentuan pemberat untuk KKS berasaskan kaedah dekomposisi QR.	92

Rajah 3.4	Contoh imej latihan dan imej kesahihan asalnya daripada pangkalan data DRIVE (a) Imej 21_training.tif (b) Imej kesahihan asal 21_training.tif (c) Imej 23_training.tif (d) Imej kesahihan asal 23_training.tif.	100
Rajah 3.5	Contoh imej ujian dan imej kesahihan asalnya daripada pangkalan data DRIVE (a) Imej 01_test.tif (b) Imej kesahihan asal 01_test.tif (c) Imej 02_test.tif (d) Imej kesahihan asal 02_test.tif.	100
Rajah 3.6	Contoh imej daripada pangkalan data STARE (a) Imej 01_test.tif (b) Imej kesahihan asal 01_test.tif (c) Imej 02_test.tif (d) Imej kesahihan asal 02_test.tif.	101
Rajah 3.7	Contoh imej dan imej kesahihan asalnya daripada pangkalan data DIBCO2009 (a) Imej H04.bmp (b) Imej kesahihan asal H04.bmp (c) Imej P03.bmp (d) Imej kesahihan asal P03.bmp.	102
Rajah 3.8	Contoh imej dan imej kesahihan asalnya daripada pangkalan data DIBCO2011 (a) Imej HW1.png (b) Imej kesahihan asal HW1.png (c) Imej PR6.png (d) Imej kesahihan asal PR6.png.	103
Rajah 3.9	Pra pemposesan bagi imej retina.	104
Rajah 3.10	Pra pemprosesan bagi imej dokumen.	104
Rajah 3.11	Contoh imej retina dan imej dokumen yang dijalankan proses penapisan Gaussian. (a) dan (c) adalah imej retina dan imej dokumen yang telah ditukarkan kepada imej aras kelabu. (b) dan (d) Penapis Gaussian yang dijalankan ke atas imej retina dan dokumen.	106
Rajah 3.12	Contoh imej retina dan imej dokumen yang dijalankan proses penapisan Gaussian. (a) dan (c) adalah imej retina dan imej dokumen yang telah ditukarkan kepada imej aras kelabu. (b) dan (d) Penapis Gaussian yang dijalankan ke atas imej retina dan dokumen.	107
Rajah 3.13	Contoh imej retina dan imej dokumen yang dijalankan proses peningkatkan kontras. (a) dan (c) adalah imej retina dan imej dokumen yang telah ditukarkan kepada imej aras kelabu. (b) dan (d) Peningkatan kontras yang dijalankan ke atas imej retina dan dokumen.	108
Rajah 4.1	Contoh variasi nilai aras kelabu. (a) Imej retina 10_test.tif (b) Histogram imej retina 10_test.tif.	111
Rajah 4.2	Imej retina yang telah dijalankan pra pemprosesan dan imej perdua yang terhasil (a) Imej aras kelabu 10_test.tif (b) Imej perdua yang terhasil daripada 10_test.tif.	112

Rajah 4.3	Contoh imej retina dari pangkalan data DRIVE yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L1Norm (a) Imej aras kelabu 10_test.tif yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L1-Norm. (b) Histogram bagi imej (a). (c) Imej perduaan yang terhasil dengan nilai ambangan 117 apabila kaedah Otsu (1979) diaplikasikan dan ketepatan = 92.50%, purata = 0.5098, sisihan piawai = 0.0715 dan entropi = 5.8767.	113
Rajah 4.4	Contoh imej retina dari pangkalan data DRIVE yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L1-Sqrt (a) Imej aras kelabu 10_test.tif yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L1-Sqrt. (b) Histogram bagi imej (a). (c) Imej perduaan yang terhasil dengan nilai ambangan 136 apabila kaedah Otsu (1979) diaplikasikan dan ketepatan = 94.23%, purata = 0.5945, sisihan piawai = 0.0674 dan entropi = 5.7842.	113
Rajah 4.5	Contoh imej retina dari pangkalan data DRIVE yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L2-Norm (a) Imej aras kelabu 10_test.tif yang telah diaplikasikan dengan kaedah penormalan L2-Norm. (b) Histogram bagi imej (a). (c) Imej perduaan yang terhasil dengan nilai ambangan 118 apabila kaedah Otsu (1979) diaplikasikan dan ketepatan = 92.42%, purata = 0.5094, sisihan piawai = 0.0714 dan entropi = 5.8771.	114
Rajah 4.6	Carta bagi langkah-langkah yang dijalankan untuk GKN.	119
Rajah 4.7	Imej perduaan yang terhasil bagi contoh imej retina daripada ketiga-tiga kaedah penormalan. (a) Imej sebenar im0077.ppm (b) Imej kesahihan asal yang disediakan oleh pakar (c) Imej perduaan 1 dari L1-Norm dengan ketepatan 94.84% (d) Imej perduaan 2 - L1-Sqrt dengan ketepatan 95.32% (e) Imej perduaan 3 - L2-Norm dengan ketepatan 94.81% bagi contoh imej dari pangkalan data STARE.	120
Rajah 4.8	Imej perduaan yang terhasil bagi contoh imej dokumen daripada ketiga-tiga kaedah penormalan (a) Imej sebenar PR5.png (b) Imej kesahihan asal yang disediakan oleh pakar (c) Imej perduaan 1 dari L1-Norm dengan ketepatan 94.32% (d) Imej perduaan 2 - L1-Sqrt dengan ketepatan 94.93% (e) Imej perduaan 3 - L2-Norm dengan ketepatan 94.80% bagi contoh imej dari pangkalan data DIBCO2011.	121
Rajah 4.9	Ringkasan pendekatan gabungan bagi peringkat setiap piksel yang diambil dari ketiga-tiga imej perduaan yang terhasil dari proses penormalan yang digunakan iaitu L1Norm, L1Sqrt dan L2Norm.	122
Rajah 5.1	Piksel sasaran (i,j) yang akan diwakilkan oleh piksel kejiranan	126

Rajah 5.2	Kemudi Kejiranan Setempat (KKS) nilai aras kelabu untuk lapan orientasi (a) 0 darjah (b) 45 darjah (c) 90 darjah (d) 135 darjah (e) 180 darjah (f) 225 darjah (g) 270 darjah (h) 315 darjah	127
Rajah 5.3	Contoh data numerik bagi kaedah yang dicadangkan untuk orientasi 0 darjah.	127
Rajah 5.4	Nilai terperinci bagi pengekstrakan KKS bagi piksel sasaran T (a) 0 darjah (b) 45 darjah (c) 90 darjah (d) 135 darjah (e) 180 darjah (f) 225 darjah (g) 270 darjah (h) 315 darjah. X adalah piksel rujukan mengikut orientasi sudut.	128
Rajah 5.5	Contoh bagi kes yang sama berlaku dalam penghuraian sesuatu piksel bagi orientasi sudut 0 darjah.	128
Rajah 5.6	Contoh nilai kebarangkalian yang diperoleh daripada PMSV bagi setiap piksel.	129
Rajah 5.7	Nilai-nilai dari setiap KKS digabungkan untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran bagi gabungan naif.	131
Rajah 5.8	Nilai KKS bagi saiz penapis 3 x 3 untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran.	131
Rajah 5.9	Nilai KKS bagi saiz penapis 5 x 5 untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran	132
Rajah 5.10	Nilai KKS bagi saiz penapis 7 x 7 untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran.	132
Rajah 5.11	Rangka kerja bagi kaedah GKKS.	137
Rajah 5.12	Carta bagi langkah-langkah yang dijalankan untuk kaedah GKKS.	138
Rajah 5.13	Imej perduaan yang terhasil daripada setiap KKS untuk contoh imej dari DRIVE. (a) Imej asal (b) Imej kesahihan asal yang disediakan oleh pakar (c) Imej perduaan untuk orientasi 0 darjah yang mempunyai ketepatan = 88.57%, purata = 0.1734, sisihan piawai = 0.3786 (d) Imej perduaan untuk orientasi 45 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.38%, purata = 0.1548, sisihan piawai = 0.3617 (e) Imej perduaan untuk orientasi 90 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.01%, purata = 0.1613, sisihan piawai = 0.3678 (f) Imej perduaan untuk orientasi 135 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.42%, purata = 0.1568, sisihan piawai = 0.3636 (g) Imej perduaan untuk orientasi 180 darjah yang mempunyai ketepatan = 91.70%, purata = 0.1404, sisihan piawai = 0.3474 (h) Imej perduaan untuk orientasi 225 darjah yang mempunyai ketepatan = 89.89%, purata = 0.1605, sisihan piawai = 0.3671 (i) Imej perduaan untuk orientasi 270 darjah	

yang mempunyai ketepatan = 90.17%, purata = 0.1546, sisihan piawai = 0.3615 (j) Imej perduaan untuk orientasi 315 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.50%, purata = 0.1510, sisihan piawai = 0.3580.

140

Rajah 5.14

Imej perduaan yang terhasil daripada setiap KKS untuk contoh imej dari STARE. (a) Imej asal (b) Imej kesahihan asal yang disediakan oleh pakar (c) Imej perduaan untuk orientasi 0 darjah yang mempunyai ketepatan = 88.12%, purata = 0.1673, sisihan piawai = 0.3732 (d) Imej perduaan untuk orientasi 45 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.07%, purata = 0.1466, sisihan piawai = 0.3537 (e) Imej perduaan untuk orientasi 90 darjah yang mempunyai ketepatan = 89.68%, purata = 0.1550, sisihan piawai = 0.3619 (f) Imej perduaan untuk orientasi 135 darjah yang mempunyai ketepatan = 89.66%, purata = 0.1529, sisihan piawai = 0.3598 (g) Imej perduaan untuk orientasi 180 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.85%, purata = 0.1384, sisihan piawai = 0.3454 (h) Imej perduaan untuk orientasi 225 darjah yang mempunyai ketepatan = 89.35%, purata = 0.1568, sisihan piawai = 0.3636 (i) Imej perduaan untuk orientasi 270 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.03%, purata = 0.1511, sisihan piawai = 0.3582 (j) Imej perduaan untuk orientasi 315 darjah yang mempunyai ketepatan = 90.20%, purata = 0.1458, sisihan piawai = 0.3529.

141

Rajah 5.15

Imej perduaan yang terhasil daripada setiap KKS untuk contoh imej daripada DIBCO2009. (a) Imej asal (b) Imej kesahihan asal yang disediakan oleh pakar (c) Imej perduaan untuk orientasi 0 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.84%, purata = 0.8617, sisihan piawai = 0.3452 (d) Imej perduaan untuk orientasi 45 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.94%, purata = 0.8627, sisihan piawai = 0.3442 (e) Imej perduaan untuk orientasi 90 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.97%, purata = 0.8619, sisihan piawai = 0.3450 (f) Imej perduaan untuk orientasi 135 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.57%, purata = 0.8605, sisihan piawai = 0.3464 (g) Imej perduaan untuk orientasi 180 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.87%, purata = 0.8617, sisihan piawai = 0.3452 (h) Imej perduaan untuk orientasi 225 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.79%, purata = 0.8599, sisihan piawai = 0.3471 (i) Imej perduaan untuk orientasi 270 darjah yang mempunyai ketepatan = 97.10%, purata = 0.8634, sisihan piawai = 0.3434 (j) Imej perduaan untuk orientasi 315 darjah yang mempunyai ketepatan = 96.58%, purata = 0.8578, sisihan piawai = 0.3493.

142

Rajah 5.16

Imej perduaan yang terhasil daripada setiap KKS untuk contoh imej daripada DIBCO2011. (a) Imej asal (b) Imej kesahihan asal yang disediakan oleh pakar (c) Imej perduaan untuk orientasi 0 darjah yang mempunyai ketepatan = 95.81%, purata = 0.8298, sisihan piawai = 0.3758 (d) Imej perduaan

	untuk orientasi 45 yang mempunyai ketepatan = 94.36%, purata = 0.8146, sisihan piawai = 0.3886 (e) Imej perduaan untuk orientasi 90 darjah yang mempunyai ketepatan = 94.15%, purata = 0.8112, sisihan piawai = 0.3914 (f) Imej perduaan untuk orientasi 135 darjah yang mempunyai ketepatan = 93.46%, purata = 0.8050, sisihan piawai = 0.3962 (g) Imej perduaan untuk orientasi 180 darjah yang mempunyai ketepatan = 94.72%, purata = 0.8176, sisihan piawai = 0.3862 (h) Imej perduaan untuk orientasi 225 darjah yang mempunyai ketepatan = 94.27%, purata = 0.8124, sisihan piawai = 0.3904 (i) Imej perduaan untuk orientasi 270 darjah yang mempunyai ketepatan = 94.97%, purata = 0.88195, sisihan piawai = 0.3846 (j) Imej perduaan untuk orientasi 315 darjah yang mempunyai ketepatan = 93.59%, purata = 0.8056, sisihan piawai = 0.3957.	143
Rajah 5.17	Pendekatan gabungan bagi peringkat setiap piksel yang diambil dari	145
Rajah 6.1	Carta bagi langkah-langkah yang dijalankan untuk kaedah GKKS-QR.	151
Rajah 7.1	Imej akhir yang diperoleh daripada kaedah Otsu (1979) dan kaedah-kaedah GKN bagi imej 10_test.tif. (a) Otsu (1979) dengan ketepatan = 93.98% (b) Varians Maksimum + Otsu (1979) dengan ketepatan 95.21% (c) Pengundian Majoriti + Otsu (1979) dengan ketepatan 94.93% (d) Peraturan Penambahan + Otsu (1979) dengan ketepatan 95.32% (e) Peraturan Purata + Otsu (1979) dengan ketepatan 94.48% (f) Peraturan Pendaraban + Otsu (1979) dengan ketepatan 95.32%.	161
Rajah 7.2	Imej akhir yang diperoleh daripada kaedah Otsu (1979) dan kaedah-kaedah GKN bagi imej PR5.png. (a) Otsu (1979) dengan ketepatan 93.35% (b) Varians Maksimum + Otsu (1979) dengan ketepatan 94.8% (c) Pengundian Majoriti + Otsu (1979) dengan ketepatan 93.35% (d) Peraturan Penambahan + Otsu (1979) dengan ketepatan 93.35% (e) Peraturan Purata + Otsu (1979) dengan ketepatan 95.05% (f) Peraturan Pendaraban + Otsu (1979) dengan ketepatan 94.92%.	162
Rajah 7.3	Imej perduaan yang terhasil daripada uji kaji II bagi imej 01_test.tif dari set data DATA_RETINA. (a) KKS 180 darjah dengan ketepatan 91.70% (b) Kaedah Sampe et al. (Sampe et al. 2011) dengan ketepatan 90.20% (c) GKKS - Peraturan Pendaraban Berpemberat dengan ketepatan 93.03%.	172
Rajah 7.4	Imej perduaan yang terhasil daripada uji kaji II bagi imej HW1.png dari set data DATA_DOKUMEN. (a) KKS 0 darjah dengan ketepatan 95.81% (b) Kaedah Sampe et al. (Sampe et	

	al. 2011) dengan ketepatan 93.16% (c) GKKS - Peraturan Penambahan Berpemberat dengan ketepatan 97.00%.	172
Rajah 7.5	Imej perdua yang diperolehi daripada PTP, GKKS dan GKKS-QR bagi imej 01_test.tif dari pangkalan data DRIVE. (a) PTP dengan ketepatan 90.77% (b) GKKS dengan ketepatan 92.98% (c) GKKS-QR dengan ketepatan 93.43%.	180
Rajah 7.6	Imej perdua yang diperolehi daripada PTP, GKKS dan GKKS-QR bagi imej im0163.ppm dari pangkalan data STARE. (a) PTP dengan ketepatan 94.16% (b) GKKS dengan ketepatan 94.64% (c) GKKS-QR dengan ketepatan 94.97% bagi imej im0163.ppm.	180
Rajah 7.7	Imej perdua yang diperolehi daripada PTP, GKKS dan GKKS-QR bagi imej HW1.png dari pangkalan data DIBCO2011. (a) PTP dengan ketepatan 94.65% (b) GKKS dengan ketepatan 97.00% (c) GKKS-QR dengan ketepatan 97.78%.	180
Rajah 7.8	Imej perdua yang diperolehi daripada PTP, GKKS dan GKKS-QR bagi imej PO1.bmp dari pangkalan data DIBCO2009. (a) PTP dengan ketepatan 96.07% (b) GKKS dengan ketepatan 97.01% (c) GKKS-QR dengan ketepatan 97.75%.	181

SENARAI SINGKATAN

NDT: ujian bukan pemusnah

TPT: Teknologi Perkomputeran Tomografi

DBK: Diagnos Berbantuan Komputer

PMSV: Pengelas Mesin Sokongan Vektor

MRB: Medan rawak bersyarat

MR: Resonans Magnet

TP: Benar Positif

TN: Benar Negatif

FP: Palsu Positif

FN: Palsu Negatif

RP: Ralat Pengelasan

RPPK: Ralat Punca Purata Kuasa Dua

GKKS: Gabungan Kemudi Kejiranan Setempat

KKS: Kemudi Kejiranan Setempat

HOG: *Histogram of Oriented Gradient*

BoF: *Bag of Features*

PL – Penekanan lembah

PPL – Pengubahsuaian penekanan lembah

PSNR – *peak signal to noise ratio*

NRM – *negative rate metric*

IHOG - *Integral Histograms of Oriented Gradient*

MLP – *multilayer perceptron*

PPV – *positive predictive value*

NPV – *negative predictive value*

ROC – *receiver operating characteristics*

MPM – *misclassification penalty metric*

DAFTAR ISTILAH

- Penderiaan Jauh – remote sensing
- Teknologi Perkomputeran Tomografi – Computed tomography technology
- Diagnos Berbantuan Komputer – Computer Aided Diagnosis
- Pengambangan – thresholding
- Pengambangan pelbagai – multithresholding
- Algoritma ralat minimum – minimum error algorithm
- Ujian bukan pemusnah - Non destructive testing
- Perduaan terselia – supervised binarization
- Perduaan tidak terselia - unsupervised binarization
- Penormalan - normalization
- Penalaan - tuning
- Lelaran – iteration
- Penapis – filter
- Penapis kuadratur – quadrature filtering
- Pengolahan aljabar – algebraic manipulation
- Algoritma pengelompokan kejiranan terhampir – nearest neighbour clustering algorithm
- Kejiranan K terdekat - K nearest neighbour (KNN)
- Rabung imej – image ridges
- Pengelas mesin sokongan vektor – support vector machine classifier
- Pembezalayan - diskriminant
- Algoritma anggaran sisi – edge estimation algorithm
- Ketukan aras kelabu – grey level stroke
- Maklumbalas perubahan gelombang kecil *Gabor* – Gabor Wavelet transform response
- Model percampuran *Gaussian* – Gaussian mixture model
- Fungsi radial basis – radial basis function
- Persamaan evolusi lengkung – curve evolution equation
- Pemahaman adegan – scene understanding
- Kaedah geodesi – geodesic method

Penapis kemudi – steerable filters
Pengayaan warna – colour enrichment
Pengundian majoriti – majority voting
Pengundian mengikut pangkat – ranked voting
Sisi – edge
Pelicinan – smoothing
Hingar – noise
Penajaman – sharpening
Tebing – bank
Peningkatan kontras – contrast enhancement
Penyeragaman histogram – histogram equalization
Kemudi kejiranan setempat – steerable local neighbourhood
Terlebih jangkaan – overdetermined
Peleburan – dilation
Hakisan – erosion
Skeletonisasi – skeletonization
Anjakan – displacement
Susun atur – layout
Titik awan – point cloud
Inti – kernel
Hitam-putih – salt and pepper

BAB I

PENGENALAN

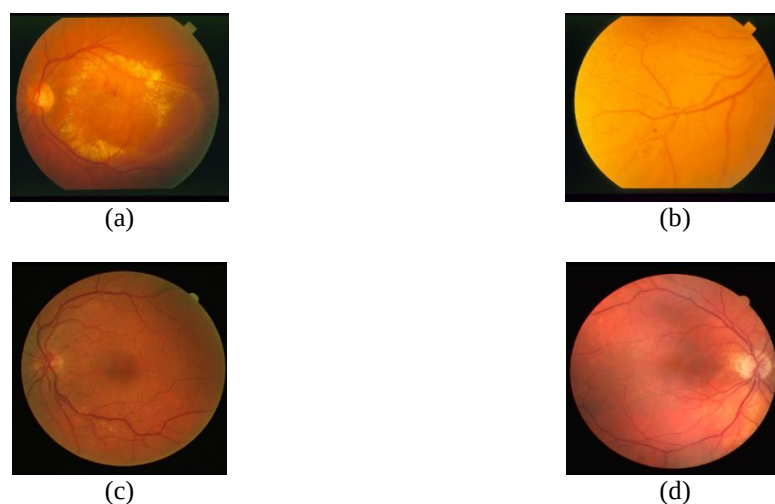
1.1 LATAR BELAKANG KAJIAN

Penemberengan imej merupakan suatu langkah pertama dalam pelbagai aplikasi bagi pengecaman corak, sistem penglihatan komputer dan pemahaman imej bagi membenarkan eksploitasi kandungan imej dalam cara yang lebih berkesan. Keputusan penemberengan adalah pembahagian imej aras kelabu kepada beberapa bahagian yang homogen berdasarkan beberapa kriteria. Perduaan merupakan satu kaedah penemberengan yang membahagikan imej kepada dua bahagian iaitu latar hadapan dan latar belakang. Imej yang terhasil adalah imej perduaan. Perduaan secara automatik adalah satu tugas yang sukar terutama jika ianya hanya berdasarkan analisis ke atas nilai aras kelabu tanpa mengambil kira ciri-ciri yang lain. Dalam sesetengah aplikasi, penggunaan imej perduaan dapat mengurangkan kos pengiraan dalam langkah yang seterusnya berbanding jika menggunakan imej aras kelabu (Tabbone & Wendling 2003). Beberapa metodologi penemberengan imej telah dicadangkan oleh beberapa penyelidik dengan menggunakan teknik perduaan dan aplikasinya terhadap pengesanan objek bergerak dan pengecaman gaya berjalan manusia (Chaki et al. 2014). Antara aplikasi perduaan adalah ujian bukan pemusnah (NDT) bagi imej ultrasonik; analisis imej dokumen yang bertujuan untuk mengekstrak abjad yang bercetak, logo, grafik; pemprosesan peta yang bertujuan untuk mengenalpasti garis, petunjuk; pemprosesan imej senario yang bertujuan untuk mengenalpasti sasaran; pemeriksaan kualiti bahan yang bertujuan untuk mengenalpasti bahan-bahan yang rosak, analisis pelbagai imej perubatan yang bertujuan untuk analisis patologi, rawatan patologi, diagnosis klinikal dan pelbagai lagi aplikasi penemberengan imej (Sezgin & Sankur 2004; Haniza et al. 2012; Zhao et al. 2016). Walau bagaimanapun proses perduaan yang efisien tidak dapat dilakukan jika sesuatu imej itu mempunyai kontras

yang lemah atau dicemari dengan hingar dari pelbagai sumber (Tabbone & Wendling 2003). Chaki et al. (2014) pula mengatakan gambar yang diambil mungkin mengandungi artifak-artifak yang berbeza seperti bayang-bayang dan pencahayaan yang tidak sekata. Bagi perduaan imej yang diambil menggunakan alat elektronik yang dilengkapi kamera, imej tersebut boleh menimbulkan satu cabaran yang baru. Kandungan imej tersebut boleh ditransformasikan dalam pelbagai cara. Cabaran baru ini timbul kerana imej-imej tersebut dihasilkan dalam pelbagai pencahayaan dan ini menghasilkan tahap kecerahan yang berbeza-beza pada imej tersebut (Chou et al. 2010).

Terdapat pelbagai jenis imej yang digunakan dalam proses perduaan. Antara imej-imej tersebut adalah imej perubatan. Penemberengan imej perubatan adalah asas kepada analisis dan pemahaman imej perubatan. Dengan kemajuan Teknologi Perkomputeran Tomografi (TPT), data yang diperoleh dalam Perkomputeran Tomografi (PT) telah bertambah secara eksponen. Penemberengan secara automatik imej perubatan dengan menggunakan Diagnosa Berbantuan Komputer (DBK) telah dibangunkan dan membuat diagnosa secara klinikal adalah lebih mudah (Dai et al. 2015). Dalam proses pengimejan, pembentukan imej perubatan terdedah kepada beberapa faktor seperti hingar dan kesan kecenderungan kawasan. Faktor-faktor ini akan menjurus kepada kesan yang tidak homogen kepada imej (Zhao et al. 2016). Dalam sesetengah kes, beberapa komposisi yang kompleks wujud disebabkan ciri-ciri pada badan dan tisu. Ini akan meningkatkan kesukaran dalam perduaan imej (Zhao et al. 2016). Ivanovska et al. (2016) mengatakan nilai aras kelabu yang tidak homogen adalah artifak yang biasa terjadi pada imej perubatan dan ini adalah disebabkan pemerolehan imej yang tidak sempurna. Sebagai contoh, frekuensi radio yang tidak homogen wujud disebabkan sama ada frekuensi yang tidak sekata atau kepekaan yang tidak sekata oleh gelung penerima dan pemancar. Artifak-artifak ini menyebabkan variasi nilai aras kelabu yang tidak diperlukan pada tisu yang sama dalam keseluruhan imej. Ini menyebabkan kegagalan perduaan imej secara automatik terutama jika perduaan imej hanya bergantung kepada nilai aras kelabu imej. Penemberengan imej perubatan adalah sukar kerana selalunya imej perubatan mempunyai banyak hingar dan struktur yang perlu dikesan dan mempunyai variasi nilai aras kelabu dalaman yang besar (Sampe et al. 2011). Penilaian ciri-ciri bagi salur darah memainkan

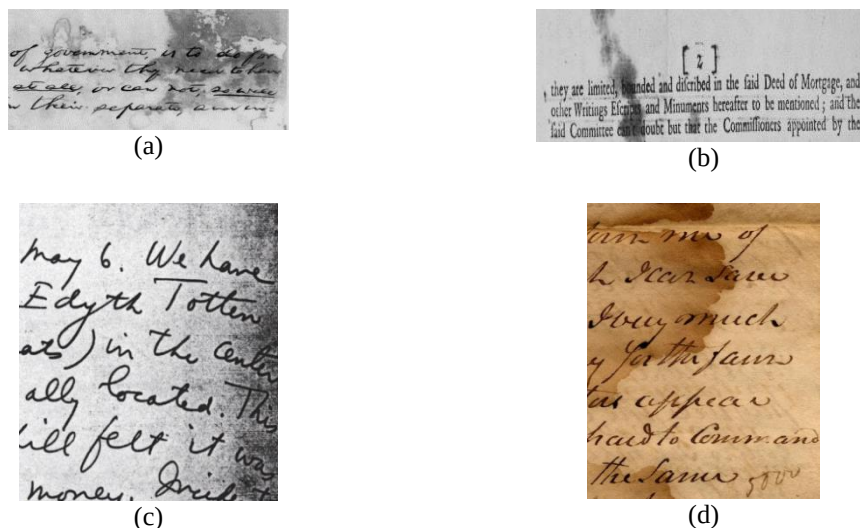
peranan yang penting dalam pelbagai diagnos perubatan. Untuk tujuan ini, pelbagai ukuran diperlukan contohnya lebar salur darah, warna, keliukan, keterpantulan, cabang abnormal atau kewujudan salur darah yang pelbagai lebar. Apabila bilangan salur darah di dalam imej menjadi besar atau bilangan imej menjadi besar, penyempadanan salur darah secara manual menjadi semakin rumit sukar (Kharghanian & Ahmadyfard 2012). Rajah 1.1 menunjukkan imej retina yang bermasalah.



Rajah 1.1 Antara contoh-contoh imej retina yang bermasalah dari pangkalan data DRIVE dan STARE (a) im0002.ppm (b) im0324.ppm (c) 03_test.tif (d) 07_test.tif

Walaupun terdapat banyak kaedah-kaedah yang telah dicadangkan untuk penemberengan imej salur darah, masih terdapat lagi batas-batas bagi imej yang digunakan. Di dalam kajian ini, imej retina telah digunakan dan daripada kaedah-kaedah penemberengan yang terdahulu, didapati terdapat penemberengan yang lemah di hadapan refleks cahaya pada tengah salur darah. Penemberengan yang lemah juga pada kawasan-kawasan salur darah yang dwicabangan dan bersilang. Penggabungan salur darah yang hampir antara satu sama lain, kehilangan salur-salur darah yang kecil, pengesanan salur darah yang palsu di kawasan cakera optik dan patologi adalah merupakan keadaan-keadaan yang mencabar dan kompleks untuk menembereng salur darah retina dengan baik (Nguyen et al. 2013). Masalah-masalah yang wujud dalam imej retina menyebabkan berlakunya nilai aras kelabu yang tidak homogen kawasan yang sama di dalam imej.

Contoh imej yang lain pula ialah imej dokumen. Kepentingan kertas tidak boleh dinafikan dalam mempertingkatkan ingatan seseorang. Ianya digunakan untuk kedua-dua urusan iaitu peribadi dan rasmi. Kertas adalah sangat penting dalam kehidupan seharian kita kerana ianya murah, mudah diperoleh, disimpan dan selamat digunakan untuk rujukan masa hadapan. Data-data sejarah juga banyak ditulis di atas kertas (Choudhary et al. 2013). Walau bagaimanapun, kertas yang digunakan mudah rosak dan ini disebabkan oleh beberapa keadaan iaitu yang merangkumi jenis sumber pemerolehan kepada keadaan persekitaran (Gatos et al. 2006). Antara degradasi yang biasa berlaku pada kertas adalah seperti wujudnya latar belakang yang berubah-ubah disebabkan nilai aras kelabu yang berubah-ubah, bayang, calitan dan kontras yang rendah (Gatos et al. 2006). Dokumen tulisan tangan adalah lebih susah untuk diproses berbanding dengan dokumen bercetak dengan mesin. Ini adalah kerana dokumen tulisan tangan mempunyai kurang struktur yang berspesifik. Sebagai contoh dalam dokumen tulisan tangan, abjad mungkin disambungkan di antara perkataan dan perkataan-perkataan daripada baris yang berbeza mungkin bersambung disebabkan gaya penulisan kaligrafi (Ntirogiannis et al. 2014). Tambahan pula penggunaan pen berbulu pelepah dalam kebanyakan dokumen-dokumen tulisan tangan bersejarah telah menyumbangkan lebih degradasi-degradasi dalam dokumen ini seperti abjad yang kabur, dakwat yang tembus mukasurat dan calitan-calitan dakwat (Ntirogiannis et al. 2014). Maka oleh itu, terdapat keperluan yang sangat besar untuk mendigitalkan semua dokumen kertas supaya semua orang di dunia ini dapat peluang untuk mengakses sumber penting dalam pengetahuan (Choudhary et al. 2013). Mohamed et al. (2013) mengatakan bahawa manuskrip-manuskrip dan dokumen lama selalunya mengalami degradasi fizikal yang pelbagai jenis dan setiap satunya memerlukan permodelan yang kompleks untuk memulihkan dan memahami manuskrip-manuskrip ini. Degradasi-degradasi manuskrip ini merangkumi dakwat yang kabur, dakwat yang menembusi kertas dan kertas yang rosak disebabkan fenomena fizikal yang memakan masa. Antara imej-imej dokumen yang mengalami degradasi adalah seperti dalam Rajah 1.2.



Rajah 1.2 Antara contoh-contoh imej dokumen yang bermasalah dari pangkalan data DIBCO2009 iaitu (a) H04.bmp (b) P04.bmp dan DIBCO2011 iaitu (c) HW1.png (d) HW4.png.

Cabaran-cabaran lain pula untuk imej dokumen adalah seperti pencahayaan yang tidak sekata, warna yang pudar, variasi nilai aras kelabu dalam piksel teks dan latar belakang, peresapan dakwat, pelunturan dakwat dan kepelbagaian dalam jenis dokumen yang hendak diproses (Karthika & James 2015). Pelbagai degradasi yang wujud pada imej dokumen menyebabkan berlakunya nilai aras kelabu yang tidak homogen pada sesuatu kawasan yang sama pada keseluruhan imej. Pelakuran kandungan imej merupakan kombinasi dua atau lebih imej yang berbeza bagi membentuk satu imej yang baru dengan menggunakan sesuatu algoritma tertentu (Jiang et al. 2013) dan imej baru yang terbentuk itu mempunyai lebih maklumat daripada imej asal (Gautam & Datar 2017). Pelakuran kandungan imej juga dikatakan teknik yang sangat berguna untuk mengintegrasikan maklumat-maklumat pelengkap daripada imej multimodal untuk meningkatkan ketepatan (Fei et al. 2017). Terdapat banyak kajian yang dilakukan menggunakan pendekatan pelakuran imej. Antaranya adalah dalam perduaan dokumen (Mitianoudis & Papamarkos 2014), mendiagnos penyakit (Fei et al. 2017), teknologi sensor (Zuo et al. 2017) dan maklumat penderiaan jauh (Jiang et al. 2013). Oleh kerana pendekatan pelakuran ini amat baik, maka ianya boleh digunakan dalam proses perduaan.

Proses perduaannya boleh dibahagikan kepada dua bahagian iaitu perduaannya secara tidak terselia dan perduaannya secara terselia. Antara proses perduaannya secara tidak terselia yang banyak dilakukan adalah teknik pengambangan. Teknik pengambangan pula dibahagikan kepada dua secara amnya iaitu pengambangan global dan pengambangan tempatan. Pengambangan global menggunakan satu nilai ambangan yang biasanya dipilih berdasarkan heuristik atau statistik daripada sifat-sifat imej yang global untuk mengelaskan piksel imej kepada latar hadapan atau latar belakang (Feng & Tan 2004). Kelemahan utama dalam pengambangan global adalah kaedah ini tidak boleh melakukan penyesuaian yang baik kepada variasi nilai aras kelabu yang tidak sekata dan hingar yang rawak pada imej.

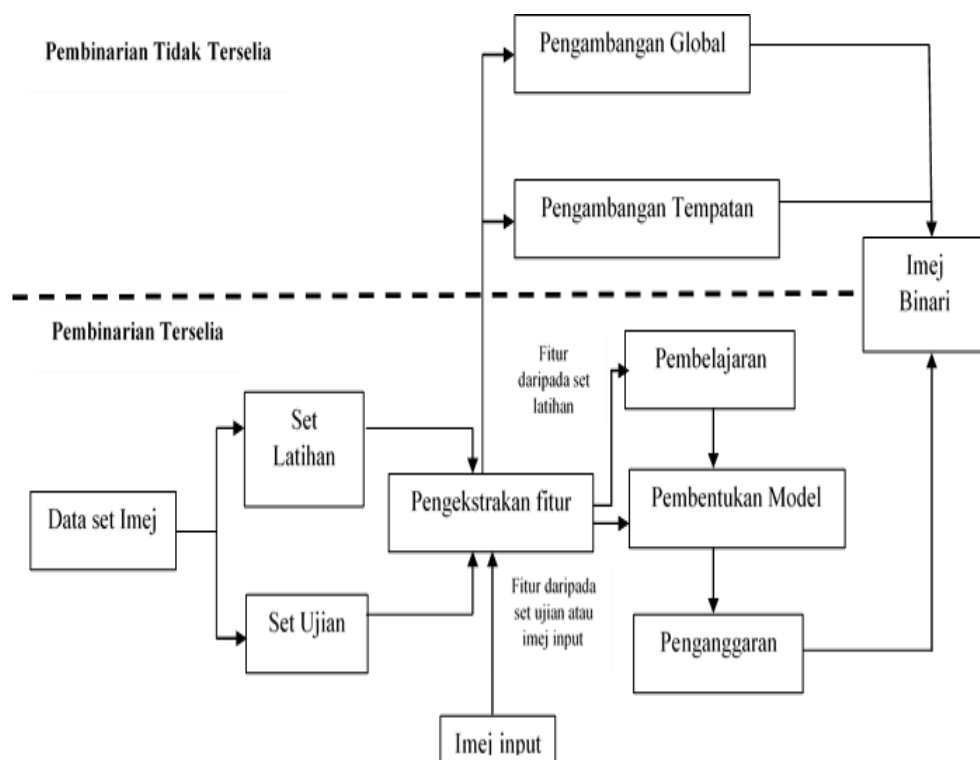
Kaedah perduaannya yang terkini banyak menggunakan pengambangan tempatan untuk mengatasi kekurangan pada pengambangan global. Di dalam pengambangan tempatan, satu nilai ambangan tempatan akan dipilih untuk setiap piksel atau sesuatu segmen berdasarkan nilai aras kelabu piksel sasaran dan nilai aras kelabu bagi kejiranan piksel tersebut (Ehsan et al. 2015). Kekurangan pengambangan tempatan adalah kaedah ini mengalami kos pengiraan yang tinggi untuk menentukan nilai ambangan tempatan bagi setiap piksel atau sesuatu segmen. Tambahan pula pengambangan tempatan menggunakan banyak parameter dan kebanyakannya memerlukan penentuan parameter ini secara manual. Oleh itu prestasi pengambangan tempatan ini sangat bergantung kepada pilihan nilai parameter yang diberi (Ehsan et al. 2015).

Dalam perduaannya secara terselia, set data imej dibahagikan kepada dua bahagian iaitu set data latihan dan set data ujian. Set data latihan menggunakan imej kesahihan asal yang sedia ada dan telah ditemberengkan oleh pakar dalam bidang berkenaan. Data daripada imej kesahihan asal digunakan sebagai label dan dijadikan latihan untuk menghasilkan model oleh pengelas. Model ini kemudiannya digunakan untuk menguji set data ujian. Mohamed et al. (2013) telah menggariskan satu rangka kerja bagi perduaannya secara terselia. Rangka kerja tersebut mempunyai struktur yang berpiawai iaitu merangkumi:

- i. pengekstrakan fitur-fitur.
- ii. menganggarkan parameter-parameter yang optimum.
- iii. pembelajaran mengenai hubungan antara fitur dengan parameter optimum.

Kaedah ini menggunakan set latihan untuk meningkatkan prestasi perduaan. Dalam set latihan, peraturan yang digunakan untuk perduaan akan dipelajari oleh algoritma berdasarkan set latihan yang telah diproses secara manual dan penemberengan imej kesahihan asal selalunya diklasifikasikan sebagai imej piawai yang disediakan oleh pakar dalam bidang tersebut (Fraz et al. 2012). Keputusan yang diperoleh daripada kaedah ini bergantung sepenuhnya kepada kualiti data set latihan (Djema & Chibani 2013; Fraz et al. 2012).

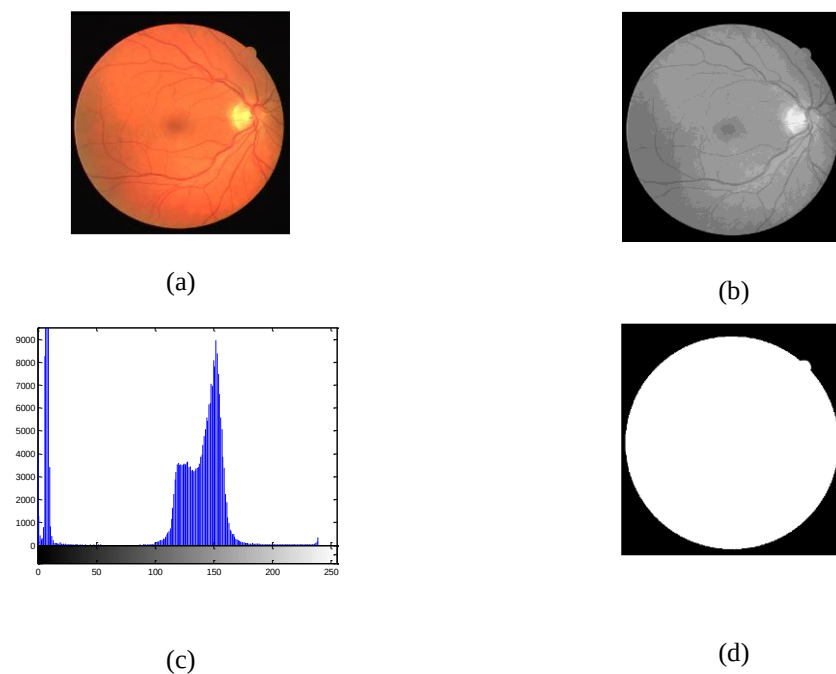
Secara umumnya, rangka kerja teknik perduaan adalah seperti di dalam Rajah 1.3.



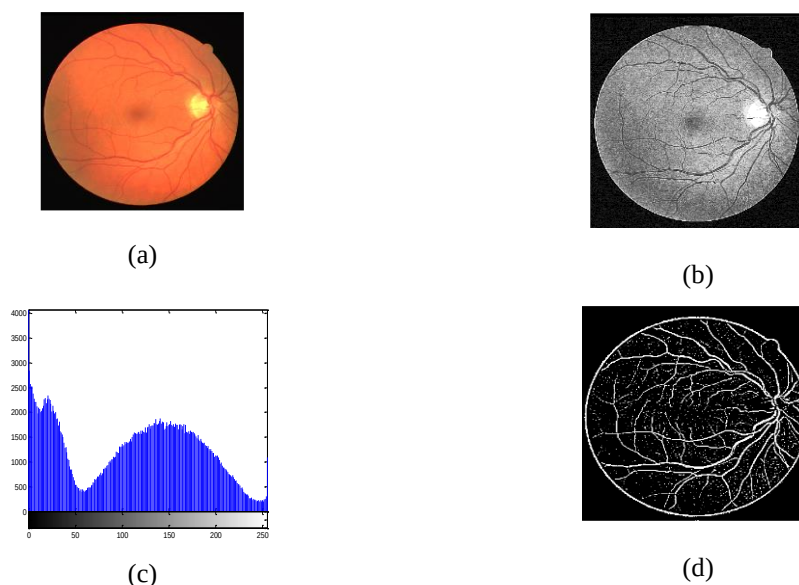
Rajah 1.3 Rangka kerja teknik perduaan.

Sesuatu imej itu biasanya tercemar dengan variasi resolusi, format imej dan teknik pencahayaan yang digunakan semasa pengambilan sesuatu imej. Oleh itu pra pemprosesan merupakan langkah yang penting dan berkebolehan untuk memulihkan beberapa masalah yang dihadapi oleh imej. Dengan pra pemprosesan yang digunakan, kualiti imej dapat ditingkatkan dan ini menjadikan ianya lebih mudah untuk diproses untuk peringkat seterusnya. Apabila kualiti imej telah dipertingkatkan maka kadar prestasi untuk penemberengan atau pengecaman menjadi semakin lebih baik.

Rajah 1.4 menunjukkan imej retina yang tidak dijalankan apa-apa proses pra pemprosesan. Apabila dilakukan pengambangan global seperti kaedah Otsu (Otsu 1979) ke atas imej, didapati perduaan imej yang terhasil tidak dapat dilakukan dengan baik seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.4 (d).



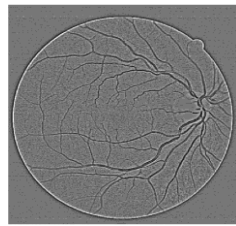
Rajah 1.4 Imej retina dan imej perduaan yang diperolehi dari kaedah Otsu (1979) sebelum dilakukan pra pemprosesan (a) Imej retina asal (b) Imej aras kelabu yang tidak dilakukan pra pemprosesan (c) Histogram bagi imej aras kelabu (d) Imej yang terhasil setelah diaplikasikan dengan kaedah pengambangan global iaitu kaedah Otsu (1979).



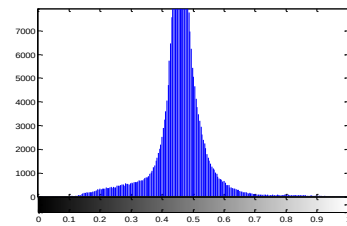
Rajah 1.5 Imej retina dan imej perduaan yang diperoleh dari kaedah Otsu (1979) setelah dilakukan pra pemprosesan (a) Imej retina asal (b) Imej yang telah dilakukan pra pemprosesan (c) Histogram bagi imej aras kelabu (d) Imej yang terhasil setelah di aplikasikan dengan kaedah pengambangan global Otsu (1979).

Di dalam Rajah 1.5 pula dapat dilihat imej retina yang telah dijalankan proses pra pemprosesan. Rajah 1.5 (c) menunjukkan histogram yang terhasil mempunyai kepelbagaian variasi pencahayaan yang kurang berbanding dengan Rajah 1.4 (c). Oleh itu apabila diaplikasikan pengambangan global, penemberengkan salur darah pada retina yang terhasil pada Rajah 1.5 (d) adalah lebih baik berbanding Rajah 1.4 (d).

Antara cara yang boleh digunakan untuk mengurangkan variasi pencahayaan yang tinggi adalah dengan menggunakan proses penormalan. Proses penormalan digunakan untuk mengurangkan variasi antara nilai aras kelabu dan ini menyebabkan julat ruang nilai aras kelabu menjadi semakin kecil. Ini dapat dilihat di dalam Rajah 1.6.



(a)

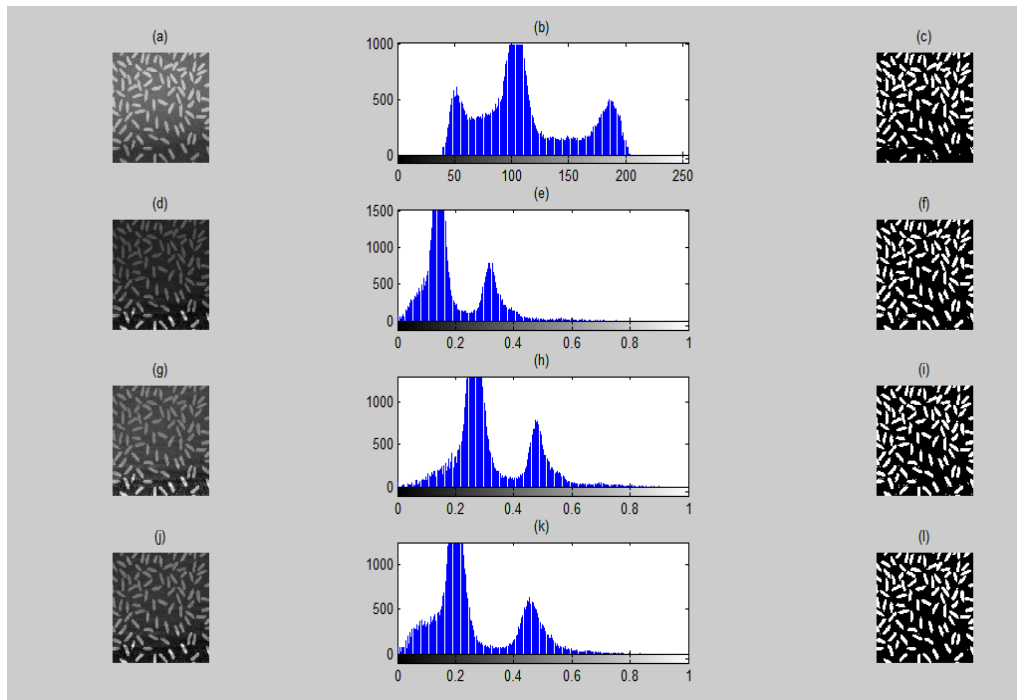


(b)

Rajah 1.6 Imej yang dilakukan proses penormalan (a) Imej aras kelabu telah diaplikasikan dengan teknik penormalan (b) Histogram bagi imej aras kelabu (a).

Daripada Rajah 1.6 (a), imej aras kelabu yang telah diaplikasikan dengan teknik penormalan menghasilkan histogram yang mempunyai variasi pencahayaan yang rendah. Oleh itu pengembangan global dapat dilakukan dengan lebih baik ke atas imej.

Contoh lain yang dapat dilihat ialah pada Rajah 1.7 iaitu menggunakan imej piawai *rice.png*. Imej ini telah diaplikasikan dengan proses penormalan seperti L1-Norm, L1-Sqrt dan L2-Norm.



Rajah 1.7 Proses penormalan dan perduaan bagi imej rice.png (a) – (c) Imej aras kelabu rice.png, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979), (d) – (f) Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan L1-Norm, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979), (g) – (i) Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan L1-Sqrt, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979), (j) – (l) Imej aras kelabu yang telah diaplikasikan L2-Norm, histogram imej dan imej perduaan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979).

Daripada Rajah 1.7, dapat dilihat bahawa histogram imej iaitu (e), (h) dan (k) yang telah diaplikasikan dengan L1-Norm, L1-Sqrt dan L2-Norm mempunyai variasi nilai aras kelabu yang kurang berbanding histogram imej asal iaitu (b). Perduaan yang dilakukan dengan kaedah Otsu (1979), didapati adalah lebih baik pada imej (f), (i) dan (l) berbanding (c). Didapati butiran beras yang berada pada bahagian bawah imej dapat ditemberengkan dengan lebih baik dan kelihatan lebih jelas berbanding pada imej (c). Ini dapat disimpulkan bahawa proses penormalan dapat mengurangkan variasi nilai aras kelabu dan oleh itu pengambangan global seperti kaedah Otsu (1979) dapat menemberengkan imej dengan lebih berkesan.

Dalam perduaan tidak terselia, kebanyakan teknik menghasilkan keputusan perduaan yang optimum bagi sesuatu imej tunggal. Tetapi disebabkan kepelbagaian dalam mendapatkan sesuatu imej, imej yang sama juga menghasilkan perduaan yang berbeza-beza. Adalah amat sukar untuk mendapatkan parameter yang seragam untuk

semua imej bagi proses perduaan (Zhu 2008). Oleh itu untuk mendapatkan proses perduaan yang stabil, perduaan secara terselia boleh digunakan. Bagi perduaan tidak terselia, pengoptimuman parameter dan kategori perlu dilakukan dan pada masa yang sama perlu mengelakkan darjah kekompleksan yang tinggi apabila merekabentuk model. Manakala bagi perduaan secara terselia, ianya hanya memerlukan kebolehan untuk mengoptimumkan model sahaja (Mohamed et al. 2013). Keputusan perduaan yang baik diperoleh dengan menggunakan perduaan secara terselia kerana ianya menggunakan latihan berdasarkan data yang telah dikelaskan terlebih dahulu (Fraz et al. 2012; Sampe et al. 2011; Ke 2011).

Kaedah gabungan telah digunakan dalam pelbagai sistem dan tujuannya adalah untuk meningkatkan prestasi masa pembelajaran dan prestasi terakhir dengan menggabungkan beberapa keputusan akhir atau kebarangkalian keputusan akhir yang diperoleh daripada beberapa algoritma yang berbeza (Wiering et al. 2008). Mengikut (Dietterich 2000) kaedah gabungan yang dijalankan ke atas pengelas-pengelas akan menjadi lebih tepat berbanding pengelas yang tunggal kerana pengelas-pengelas yang digabungkan itu adalah tepat dan mempunyai variasi yang tinggi antara satu sama lain. Oleh itu apabila terdapat beberapa keputusan akhir dan keputusan-keputusan ini hendak digabungkan, variasi perlulah wujud antara keputusan-keputusan akhir ini supaya keputusan muktamad yang diperoleh menjadi lebih baik daripada keputusan yang sedia ada. Contohnya boleh dilihat pada Rajah 1.7 yang menunjukkan imej aras kelabu yang telah diaplikasikan dengan tiga kaedah penormalan iaitu L1-Norm, L1-Sqrt dan L2-Norm.

1.2 LATAR BELAKANG MASALAH

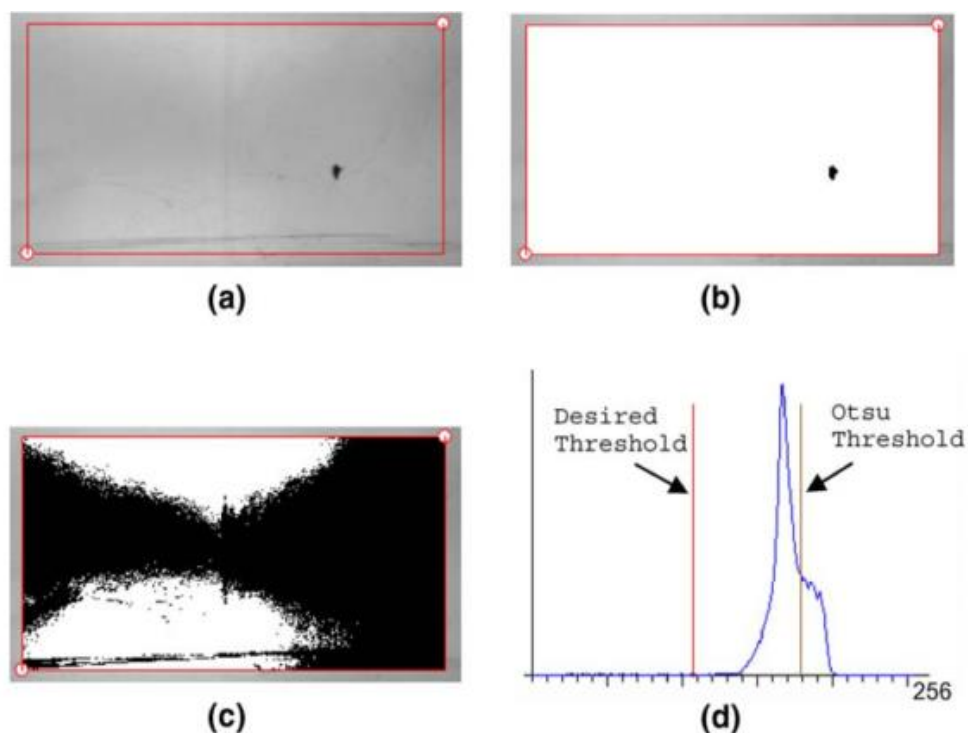
Perduaan imej merupakan salah satu tugas penting di dalam analisis imej dan pemahaman sistem. Tujuan perduaan imej adalah untuk menemberengkan piksel-piksel pada imej kepada dua kelas sahaja walaupun imej tersebut mempunyai pelbagai darjah kekompleksan, masalah dan degradasi. Antara contoh-contoh darjah kekompleksan tersebut adalah seperti di dalam imej retina iaitu mempunyai salur darah yang bertindan, keliukan salur darah yang pelbagai, lebar salur darah yang tidak sekata dan kepelbagaian cabang salur darah yang wujud. Manakala, degradasi pada

imej dokumen pula adalah dakwat yang kabur, dakwat yang menembusi kertas, calitan dakwat dan kertas yang rosak akibat proses fizikal. Bagi imej yang diperolehi dari proses pengimejan, refleksi dari pencahayaan, pencahayaan yang tidak sekata dan kecerahan yang pelbagai merupakan antara masalah yang wujud kesan dari proses pengimejan. Ini menjadikan proses perduaan imej menjadi rumit dan masih lagi merupakan masalah terbuka dan penting untuk diselesaikan (Jia et al. 2018; Vo et al. 2018; Almeida et al. 2018). Perduaan imej adalah kritikal kerana pemisahan latar hadapan dan latar belakang yang teruk akan menyebabkan kehilangan maklumat penting atau menambahkan hingar dan maklumat yang tidak digunakan (Kefali et al. 2014). Terdapat banyak pendekatan telah digunakan untuk menyelesaikan masalah ini termasuklah kaedah-kaedah terkini telah digunakan di dalam beberapa artikel (Chou et al. 2010; Malarvel et al. 2017; Ehsan et al. 2015; Vats et al. 2017; Jia et al. 2018; Vo et al. 2018; Almeida et al. 2018).

Pendekatan awal yang biasa digunakan adalah pengambangan global. Terdapat beberapa pengambangan global yang dikatakan berjaya seperti Otsu (1979) dan Kapur et al. (1985) yang menghasilkan keputusan perduaan yang baik apabila latar hadapan dan latar belakang mempunyai pemisahan yang jelas. Namun, kaedah pengambangan global akan gagal jika imej mengandungi corak latar belakang yang pelbagai iaitu heterogen. Di dalam pengambangan global, terdapat pembolehubah rawak T yang dikenali sebagai nilai ambangan. Nilai ambangan, T , ditentukan oleh algoritma pengambangan global yang mengelaskan piksel sama ada latar hadapan atau latar belakang.

Kaedah Otsu (1979) merupakan salah satu kaedah pengambangan global yang popular dan selalu dirujuk di dalam kajian perduaan imej (Ehsan et al. 2015). Dengan memilih nilai ambangan untuk memaksimumkan varians antara kelas atau meminimumkan varians dalam kelas untuk histogram imej, kaedah Otsu (1979) dapat menghasilkan penemberengan dalam pelbagai keadaan. Untuk menggunakan kaedah Otsu (1979), andaian yang perlu dibuat adalah nilai aras kelabu di antara latar hadapan dan latar belakang dalam taburan imej adalah bertaburan *Gaussian* dengan varians yang sama (Kittler & Illingworth 1986). Secara amnya, imej dunia sebenar tidak memenuhi andaian tersebut. Oleh itu kaedah Otsu (1979) gagal untuk memilih nilai

ambangan yang optimum dalam sesuatu kes tertentu. Nilai ambangan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979) cenderung ke arah komponen kelas yang mempunyai varians yang lebih besar (Xu et al. 2011; Ng 2006; Truong & Kim 2017). Kaedah Otsu (1979) gagal jika saiz bagi latar hadapan dan latar belakang mempunyai perbezaan yang sangat besar (Yuan et al. 2015). Penyelidik Xu et al. (2011) mendapati bahawa nilai ambangan yang terhasil daripada kaedah Otsu (1979) adalah sama dengan purata bagi aras purata dua kelas yang dibahagikan dengan nilai ambangan ini. Hasilnya menyebabkan sebahagian piksel akan dikelaskan kepada kelas yang lagi satu yang mempunyai varians yang lebih kecil ataupun sebaliknya. Rajah 1.8 menunjukkan satu contoh daripada kelemahan kaedah Otsu (1979) yang memberikan nilai ambangan yang cenderung terhadap komponen kelas yang mempunyai varians yang besar berbanding dengan nilai ambangan yang sepatutnya. Oleh itu kaedah Otsu (1979) perlu melalui proses penormalan supaya nilai ambangan yang terhasil lebih stabil dan tidak cenderung terhadap komponen kelas yang mempunyai varians yang besar.

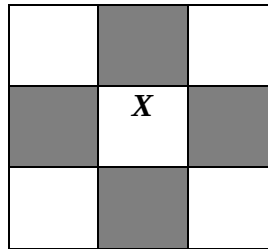


Rajah 1.8 Masalah bagi kaedah Otsu (1979) dalam pengambangan (a) imej asal (b) imej kesahihan asal (c) imej perduaan yang terhasil dengan menggunakan kaedah Otsu (1979) (d) histogram dan nilai ambangan. (Sumber: (Ng 2006)).

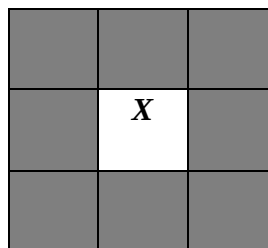
Salah satu kebaikan pengembangan global adalah ianya mudah dilakukan dan cepat. Walau bagaimanapun, pengembangan global adalah bermasalah kerana tidak dapat mengadaptasi nilai ambangan jika imej yang digunakan mempunyai variasi pencahayaan yang pelbagai dan masalah nilai aras kelabu yang tidak homogen. Oleh itu salah satu pendekatan lain untuk perduaan imej adalah secara pendekatan tempatan. Pendekatan tempatan adalah baik kerana dengan menggunakan maklumat tempatan, perubahan satu ruang tempatan dapat dikesan dengan perubahan fitur-fitur tempatan. Satu set fitur tempatan boleh digunakan sebagai perwakilan yang teguh untuk mengenali objek ataupun adegan tanpa perlu untuk menemberengkan imej terlebih dahulu (Tuytelaars & Mikolajczyk 2007). Maklumat tempatan dapat mengesan variasi tempatan yang wujud pada sesuatu ruang yang ditentukan di dalam imej. Maklumat tempatan juga berupaya melakukan pengesanan fitur-fitur beraras rendah dengan lebih berkesan. Pengesanan fitur ini penting untuk tugas-tugas seperti penjejakan ciri, pengesanan kontur, peningkatan imej dan penentuan kamera. Salah satu cara bagi mengatasi masalah nilai aras kelabu yang tidak homogen adalah dengan menggunakan pendekatan tempatan iaitu kaedah perduaan imej secara terselia (Sampe et al. 2011; Kefali et al. 2014). Di dalam kaedah ini, untuk satu ruang tettingkap yang ditentukan, fitur-fitur dipelajari dan cuba untuk menghasilkan peraturan statistik umum yang dapat menyediakan sedikit pertolongan dalam mengenalpasti sifat statistik homogen yang paling berkaitan untuk penemberengan imej (Vasconcelos et al. 2006). Maklumat kejiranan nilai aras kelabu digunakan sebagai fitur untuk pengelasan piksel sasaran. Antara kebaikan menggunakan maklumat kejiranan nilai aras kelabu adalah untuk mengatasi masalah seperti latar belakang dan latar hadapan memberikan warna yang sama (Sampe et al. 2011).

Penyelidik Sampe et al. (2011) dan Kefali et al. (2014) telah menggunakan nilai aras kelabu piksel kejiranan sebagai fitur untuk mengelaskan sesuatu piksel sasaran kepada piksel latar hadapan atau latar belakang. Walau bagaimanapun, didapati penggunaan nilai aras kelabu bagi piksel kejiranan sahaja untuk mengelaskan sesuatu piksel tidak memberikan hasil perduaan imej yang cukup baik. Ini adalah kerana fitur-fitur beraras rendah tidak dapat dikesan dengan baik. Rajah 1.9 menunjukkan kejiranan piksel yang digunakan oleh penyelidik Sampe et al. (2011). Didapati kaedah ini tidak mengambilkira kedudukan piksel kejiranan dan hanya

menggunakan 4-kejiranan sahaja untuk mengelaskan piksel, X . Manakala Rajah 1.10 pula menunjukkan kejiranan piksel bagi kajian yang digunakan oleh Kefali et al. (2014). Penyelidik Kefali et al. (2014) telah menggunakan 8-kejiranan untuk mengelaskan piksel, X , beserta dengan nilai purata dan sisihan piawai bagi imej.



Rajah 1.9 4-kejiranan piksel yang digunakan oleh penyelidik Sampe et al. (2011).



Rajah 1.10 8-kejiranan piksel yang digunakan oleh penyelidik Kefali et al.(2014).

Fitur-fitur beraras rendah ini seperti baris, tepi, sudut dan simpang sentiasa wujud dalam pelbagai orientasi dan kadang-kadang diwakili juga oleh beberapa orientasi (Matthias et al. 2012). Fitur-fitur beraras rendah membawa maklumat penting berkenaan struktur bagi imej. Tambahan pula penggunaan maklumat kejiranan setempat nilai aras kelabu merujuk kepada penggunaan fitur tempatan berbanding dengan penggunaan fitur global. Penggunaan fitur tempatan adalah lebih stabil (Kogler et al. 2009) dan teguh terhadap oklusi dan keselerakan (Lisin et al. 2005). Kedudukan piksel yang digunakan di dalam Sampe et al. (2011) dan Kefali et al. (2014) bagi piksel kejiranan tidak cukup sensitif untuk mengesan fitur-fitur beraras rendah. Oleh itu, adalah perlu untuk mengintegrasikan orientasi kedudukan piksel bagi perwakilan piksel sasaran. Ini adalah untuk menghasilkan pengelasan piksel yang lebih baik ketepatannya.

Sistem berasaskan gabungan fitur-fitur dikatakan dapat mencapai keputusan ketepatan pengecaman corak yang lebih tinggi (Azizi et al. 2010a). Oleh itu orientasi-orientasi maklumat nilai aras kelabu yang dibina, digabungkan untuk mencapai ketepatan perdua yang lebih tinggi. Walau bagaimanapun, tidak semua gabungan fitur dapat meningkatkan ketepatan perdua imej. Untuk meningkatkan ketepatan perdua imej, variasi perlu wujud di kalangan orientasi nilai aras kelabu (Kittler & Hatef 1998). Dengan ini, kelemahan dan kekuatan setiap orientasi dapat melengkapi antara satu sama lain dan seterusnya dapat meningkatkan ketepatan perdua imej.

Di dalam kajian literatur, banyak penyelidikan telah menggunakan pendekatan gabungan bagi menghasilkan keputusan kajian menjadi lebih baik seperti yang dilakukan oleh Wiering & van Hasselt (2008), Celebi et al. (2010), Azizi et al. (2009), Saenko & Darrell (2008) dan Jia et al. (2018). Namun, dalam sesetengah keadaan, proses penggabungan menyebabkan keputusan kajian menjadi lebih teruk. Ini adalah kerana keputusan pengelasan yang salah telah mendominasi proses penggabungan (Kannao & Guha 2015). Oleh itu, antara cara untuk menggabungkan orientasi yang wujud adalah dengan meletakkan pemberat bagi setiap orientasi. Dengan meletakkan pemberat bagi setiap orientasi, darjah kepentingan sesuatu orientasi dapat ditentukan. Namun begitu, pemberat yang optimum amat diperlukan supaya keputusan yang diperolehi adalah teguh dan stabil. Ini dapat meningkatkan keupayaan generalisasi yang lebih baik.

1.3 PENYATAAN MASALAH

Terdapat dua kaedah utama dalam kajian imej perdua ini iaitu perdua secara tidak terselia dan perdua secara terselia. Bagi perdua secara tidak terselia, fokus telah ditumpukan kepada fitur yang digunakan dalam mendapatkan nilai ambangan iaitu nilai aras kelabu yang digunakan untuk mengelaskan sama ada piksel itu adalah kepunyaan latar hadapan atau latar belakang. Di dalam kalangan kaedah pengembangan global, kaedah Otsu (1979) telah dirujuk dengan meluas. Kaedah Otsu (1979) menggunakan kriteria diskriminasi iaitu varians antara kelas supaya mengautomatikan pemilihan nilai ambang dengan memaksimumkan pemisahan kelas dalam nilai aras kelabu. Walau bagaimanapun, kaedah Otsu (1979) didapati

mempunyai masalah dengan perduaan disebabkan perbezaan varians dalam kelas (Hou et al. 2006). Nilai ambang yang diperoleh didapati cenderung ke arah komponen kelas yang mempunyai varians yang lebih besar (Xu et al. 2011; Ng 2006; Fan & Lei 2012). Masalah ini menyebabkan pengelasan piksel yang salah iaitu pengelasan piksel kepunyaan sesuatu kelas dikelaskan kepada kelas yang lain. Oleh itu akan timbul persoalan, bagaimana untuk menghasilkan nilai ambangan yang lebih stabil dan kurang cenderung kepada kelas varians yang lebih besar?

Bagi kaedah perduaan secara terselia, maklumat kejiranan setempat digunakan untuk mengesan fitur-fitur beraras rendah kerana maklumat global tidak dapat mengesan maklumat setempat seperti fitur-fitur beraras rendah yang wujud di dalam imej. Walau bagaimanapun, kedudukan piksel-piksel kejiranan bagi piksel sasaran adalah sangat penting untuk pengesanan fitur-fitur beraras rendah. Fitur-fitur beraras rendah sentiasa wujud dalam pelbagai orientasi. Tambahan pula banyak ciri imej yang relevan dicirikan oleh dua atau lebih orientasi. Kedudukan piksel kejiranan yang sedia ada tidak sensitif dan tidak dapat mengesan fitur-fitur beraras rendah. Imej perduaan terhasil yang diperoleh hanya mempunyai keserupaan sedikit sahaja dengan penemberengan manual. Oleh itu akan timbul persoalan, adakah maklumat orientasi kedudukan kemudi kejiranan setempat (KKS) nilai aras kelabu penting bagi sesuatu piksel? Adakah gabungan kemudi kejiranan setempat (GKKS) dapat mewakili sesuatu piksel sasaran? Adakah GKKS dapat meningkatkan keputusan perduaan? Bagaimana kesan pemberat bagi sesuatu KKS dapat mempengaruhi proses perduaan?

Apabila set vektor fitur telah digunakan dalam perwakilan sesuatu piksel sasaran dan didapati orientasi kedudukan KKS bagi piksel sasaran adalah penting, maka kaedah GKKS tersebut perlu diteliti. KKS bagi sesuatu piksel sasaran dalam pelbagai kedudukan itu akan digabungkan secara linear. Pemberat akan diletakkan kepada setiap kedudukan KKS. Oleh itu, akan timbul persoalan, adakah nilai pemberat yang dicari secara heuristik bagi kepada setiap kedudukan KKS akan memberikan keputusan perduaan lebih baik? Bagaimana hendak mengoptimumkan nilai pemberat yang diberi kepada setiap KKS? Adakah pemberat yang optimum memberikan ketepatan perduaan yang lebih baik?

Untuk menjawab soalan-soalan pernyataan masalah yang ada maka tiga objektif kajian telah dicadangkan di dalam tesis ini.

1.4 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif kajian ini adalah seperti berikut:

- i. Mencadangkan penghasilan nilai ambangan yang lebih stabil dan kurang cenderung kepada kelas yang mempunyai varians yang lebih besar bagi kaedah Otsu (1979) dengan menggunakan algoritma gabungan kaedah penormalan (GKN).
- ii. Mencadangkan kedudukan piksel kejiranan sesuatu piksel sasaran bagi perduaan secara terselia yang lebih sensitif terhadap fitur beraras rendah dengan menggunakan algoritma gabungan kemudi kejiranan setempat (GKKS).
- iii. Mencadangkan penentuan pemberat bagi setiap KKS dengan menggunakan algoritma gabungan kemudi kejiranan setempat berasaskan kaedah dekomposisi QR (GKKS-QR).

Ringkasannya dapat dilihat di dalam Jadual 1.1 berikut:

Jadual 1.1 Ringkasan pernyataan masalah dan objektif dalam kajian yang dilakukan.

Penyataan Masalah	Objektif
Kaedah Otsu (1979) mempunyai kekurangan dengan menghasilkan nilai ambangan yang cenderung terhadap komponen kelas yang mempunyai varians yang lebih besar dan menyebabkan pengelasan piksel yang salah.	Mencadangkan penghasilan nilai ambang yang lebih stabil dan kurang cenderung kepada kelas yang mempunyai varians yang lebih besar dengan menggunakan algoritma gabungan kaedah penormalan (GKN).
Maklumat global tidak dapat mengesan fitur-fitur beraras rendah yang wujud di dalam imej. Oleh itu maklumat piksel kejiranan setempat digunakan untuk mengesan fitur-fitur ini. Walau bagaimanapun, kedudukan piksel kejiranan yang sedia ada bagi piksel sasaran tidak sensitif dan tidak dapat mengesan fitur-fitur beraras rendah yang wujud dalam pelbagai orientasi.	Mencadangkan kedudukan baru piksel kejiranan sesuatu piksel sasaran bagi perduaan secara terselia yang lebih sensitif terhadap fitur beraras rendah dengan menggunakan algoritma gabungan kemudi kejiranan setempat (GKKS).

bersambung...

...sambungan

Penentuan pemberat bagi setiap KKS secara heuristik adalah tidak stabil dan tidak optimum.

Mencadangkan penentuan pemberat bagi setiap KKS dengan menggunakan algoritma gabungan kemudi kejiranan setempat berasaskan kaedah dekomposisi *QR* (GKKS-*QR*).

1.5 KERANGKA TEORI

Kerangka teori yang digunakan dalam kajian ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.11. Kaedah perduaan secara tidak terselia dan secara terselia dijalankan secara berasingan. Proses penggabungan yang wujud adalah penggabungan kaedah penormalan bagi perduaan secara tidak terselia. Manakala proses penggabungan bagi perduaan secara terselia adalah penggabungan KKS bagi setiap orientasi. Untuk objektif 1, kaedah GKN akan dibandingkan dengan kaedah-kaedah perduaan secara tidak terselia. Objektif 2 pula mencadangkan kaedah GKKS dan dibandingkan dengan kaedah-kaedah perduaan secara terselia. Objektif 3 pula mencadangkan kaedah GKKS-*QR* yang merupakan peluasan kaedah GKKS yang mencadangkan pemberat yang optimum untuk setiap KKS.

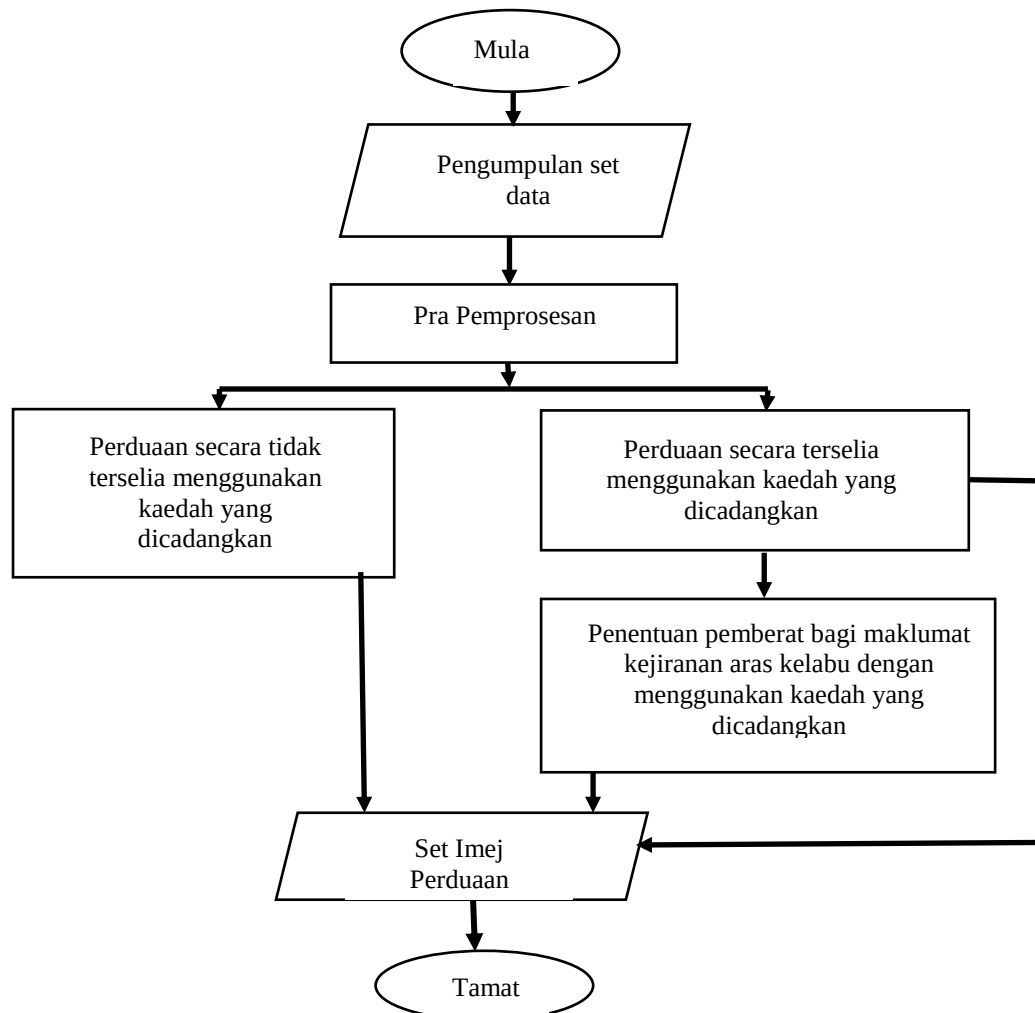
Langkah pertama dalam kerangka teori Rajah 1.11 ialah pengumpulan set data. Set data ini kemudiannya digunakan dalam proses pra pemprosesan. Proses pra pemprosesan yang dilakukan adalah berdasarkan jenis imej yang digunakan.

Langkah kedua pula ialah pra-pemprosesan. Proses ini menjadikan set data yang digunakan lebih mudah untuk diproses dalam proses yang seterusnya dan fiturnya lebih mudah diekstrak.

Langkah ketiga ialah perduaan secara tidak terselia dengan menggunakan penggabungan kaedah penormalan untuk meningkatkan kaedah Otsu (1979). Kaedah ini diterangkan dengan lebih lanjut di dalam Bab IV.

Langkah keempat ialah perduaan secara terselia dengan menggunakan kaedah penggabungan KKS yang dicadangkan. Kaedah ini diterangkan dengan lebih lanjut di dalam Bab V.

Langkah kelima adalah penentuan pemberat bagi maklumat kejiranan yang digunakan dalam perduaan secara terselia dengan menggunakan kaedah yang dicadangkan. Kaedah ini diterangkan dengan lebih lanjut di dalam Bab VI.



Rajah 1.11 Kerangka teori yang digunakan.

1.6 KEPENTINGAN KAJIAN

Kajian ini mencadangkan penambahbaikan dalam kaedah perduaan secara tidak terselia dan terselia. Kajian ini adalah kaedah asas dan digunakan secara meluas dalam pelbagai operasi pemprosesan imej dan visual komputer yang sentiasa memerlukan

penambahbaikan. Kajian yang dijalankan ini juga adalah sangat penting terhadap domain kajian dan ilmu dalam bidang kaedah perdua dan aplikasi terhadap dunia nyata. Kepentingan kajian adalah seperti berikut :

- i. Kajian literatur terhadap kaedah yang sedia ada yang digunakan dalam perdua. Satu tinjauan komprehensif yang kritikal bagi teknik-teknik yang sedia ada telah dibentangkan di dalam Bab II bagi tesis ini. Pelbagai teknik yang berbeza telah dibincangkan di dalam Bab II.
- ii. Kaedah perdua secara tidak terselia: Ini adalah kaedah yang selalu dan biasa digunakan di dalam visual komputer di dalam pelbagai aplikasi. Kajian ini telah menyumbang kepada kajian terkini di dalam kaedah perdua. Cadangan penambahbaikan yang stabil dan mudah terhadap teknik yang sedia ada boleh digunakan dan diaplikasikan dalam pelbagai aplikasi perdua yang memberikan impak yang sangat besar kepada sistem analisis dokumen, analisis imej bioperubatan, pengecaman sasaran secara automatik, pengecaman huruf optik dan lain-lain lagi. .
- iii. Kaedah perdua secara terselia : Cadangan penambahbaikan terhadap kaedah perdua secara terselia dengan menggunakan GKKS bagi perwakilan sesuatu piksel sasaran dan ini boleh digeneralisasikan terhadap pelbagai imej.
- iv. Penentuan pemberat secara optimum bagi setiap orientasi gabungan linear KKS untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran.
- v. Satu penilaian lengkap menggunakan kaedah piawai dan analisis statistik telah dijalankan sebagai sebahagian tugas dalam kajian ini.

1.7 SKOP KAJIAN

Skop yang dipertimbangkan dan digunapakai dalam kajian ini adalah :

- i. Kajian ini fokus terhadap kaedah perdua secara tidak terselia dan secara terselia dengan bertujuan untuk menambahbaik dan meningkatkan ketepatan kaedah perdua.

- ii. Empat set data digunakan di dalam kajian ini untuk tujuan perbandingan dengan kaedah yang dicadangkan. Empat set data itu terdiri daripada dua jenis imej iaitu imej dokumen dan imej retina. Dua set data adalah imej dokumen dan dua set data lagi adalah imej retina. Imej dokumen adalah terdiri daripada pelbagai imej cetakan mesin dan tulisan tangan. Imej retina pula adalah imej digital fundus yang gambarnya diambil dari belakang mata.
- iii. Penilaian bagi kaedah yang dicadangkan akan menggunakan :
 - a. Imej retina set data yang diambil secara rawak dari dua set data imej retina.
 - b. Imej dokumen set data yang diambil secara rawak dari dua set data imej dokumen.
- iv. Penilaian bagi kaedah yang dicadangkan menggunakan kaedah piawai yang digunakan oleh penyelidik lain bagi kaedah perduaan.
- v. Kajian ini menyentuh aspek ketepatan imej perduaan yang terhasil apabila dibandingkan dengan imej kesahihan asal yang sedia ada di dalam set data yang telah ditemberengkan oleh pakar dalam bidang berkenaan dan bukannya aspek masa ruang ingatan.

1.8 STRUKTUR ORGANISASI TESIS

Tesis ini mengandungi lapan bab. Ianya adalah:

Bab I menerangkan pengulasan berkenaan pengenalan, latar belakang kajian dan pernyataan masalah telah dibuat. Kemudian, objektif kajian telah dinyatakan dan ini mestilah berasaskan pernyataan masalah yang dibentangkan. Kerangka kajian yang dijalankan juga dinyatakan dalam bab ini dan seterusnya membincangkan kepentingan dan skop kajian yang dijalankan.

Bab II pula mengandungi penerangan berkenaan domain kajian secara umum iaitu kaedah perduaan telah dilakukan. Seterusnya, kaedah-kaedah yang sedia ada yang telah dibangunkan oleh para penyelidik terdahulu telah diterangkan di dalam bab

ini. Penerangan berkenaan teknik-teknik yang bakal digunakan di dalam cadangan algoritma juga dilakukan di dalam bab ini seperti kaedah penormalan, kaedah gabungan dan kaedah dekomposisi *QR*. Penggunaan penilaian prestasi bagi kaedah yang dicadangkan juga diterangkan di dalam bab ini. Seterusnya pengenalan kepada pangkalan-pangkalan data yang digunakan untuk kajian telah dinyatakan.

Bab III mengandungi metodologi kajian yang digunakan dalam kajian ini. Metodologi kajian diperincikan dengan penerangan terhadap kerangka kajian yang dijalankan. Rekabentuk uji kaji yang dijalankan juga diterangkan di dalam bab ini. Proses pra pemprosesan terhadap imej-imej yang digunakan di dalam kajian juga diterangkan di sini dan di akhir bab, perkakasan yang digunakan di dalam kajian telah dinyatakan.

Bab IV pula memperkenalkan algoritma cadangan iaitu penambahbaikan kaedah perdua secara tidak terselia. GKN digunakan untuk mengatasi masalah kaedah Otsu (1979) yang menghasilkan nilai ambangan yang cenderung kepada komponen kelas yang mempunyai varians yang lebih besar. Oleh itu, kaedah Otsu (1979) akan ditambahbaik dengan menggunakan kaedah penormalan. Dalam bab ini, penerangan berkenaan kaedah penormalan yang digunakan dan juga GKN yang dapat meningkatkan ketepatan perdua. Dalam bab ini juga diterangkan bagaimana pemberat-pemberat diletakkan pada setiap kaedah penormalan. Kod pseudo bagi algoritma cadangan telah ditunjukkan pada bahagian lampiran tesis ini.

Bab V ini memperkenalkan algoritma cadangan iaitu perdua dengan menggunakan kaedah perdua secara terselia. Orientasi KKS untuk perwakilan sesuatu piksel sasaran telah diperkenalkan di dalam bab ini. Kemudian penerangan bagaimana orientasi ini dibina dan akhirnya digabungkan untuk meningkatkan ketepatan kaedah perdua. Di dalam bab ini juga, telah dijelaskan bagaimana nilai pemberat-pemberat dicari melalui kaedah heuristik dan akhirnya telah diberikan kepada setiap orientasi maklumat kejiranan yang digabungkan secara linear. Kod pseudo bagi algoritma cadangan telah ditunjukkan pada bahagian lampiran tesis ini.

Bab VI memperincikan kaedah pencarian nilai pemberat bagi setiap KKS secara optimum dengan menggunakan kaedah dekomposisi *QR*. Penerangan secara jelas diberikan bagaimana setiap KKS akan digabungkan secara linear dan nilai pemberat yang dicari melalui kaedah dekomposisi *QR* akan diberikan kepada setiap orientasi. Kod pseudo bagi algoritma cadangan telah ditunjukkan pada bahagian lampiran tesis ini.

Bab VII melaporkan keputusan uji kaji I, II dan III. Keputusannya adalah purata ketepatan perdua, purata ralat pengelasan perdua, purata ralat punca kuasa dua dan ukuran- F bagi algoritma cadangan dan juga kaedah-kaedah piawai yang digunakan dan juga kaedah-kaedah penyelidik lain yang dibandingkan dengan algoritma cadangan. Keputusan dalam perbandingan imej juga ditunjukkan di dalam bab ini. Keputusan bagi ujian signifikan antara algoritma cadangan dengan kaedah yang dibandingkan telah diterangkan secara jelas pada akhir setiap uji kaji yang dijalankan.

Bab VIII ini merumuskan tentang dapatan kajian dan sumbangannya pada domain kajian. Dalam bab ini juga dinyatakan penambahbaikan algoritma cadangan yang mungkin boleh dilakukan pada masa akan datang.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 PERDUAAN

Perduaan merupakan salah satu tugas penting di dalam pemrosesan imej dan algoritma visi komputer. Perduaan imej mempunyai populariti yang luas dalam pelbagai bidang kajian terutamanya dalam analisis imej dokumen, analisis imej perubatan dan pemrosesan imej pemandangan. Perduaan imej adalah proses yang memisahkan nilai piksel kepada dua kumpulan iaitu latar hadapan sebagai warna putih dan latar belakang sebagai warna hitam. Perduaan yang efektif sangat penting kerana perduaan yang baik membolehkan ketepatan pengecaman bertambah baik untuk pelbagai aplikasi pengecaman corak (Chaki et al. 2014). Perduaan akan menjadi satu tugas yang sukar jika imej berada dalam pelbagai pencahayaan dan terdapat banyak hingar. Terdapat banyak algoritma yang telah dibina untuk perduaan. Majoriti algoritma perduaan boleh dikategorikan kepada kaedah perduaan secara terselia dan secara tidak terselia (Kumar et al. 2013). Dalam kaedah perduaan secara terselia, algoritma pembelajaran mesin akan dilatih untuk perduaan sesuatu imej berdasarkan set data latihan dan kemudiannya akan diuji pada set data ujian. Manakala dalam kaedah perduaan secara tidak terselia, sifat-sifat statistik imej akan digunakan untuk menembereng imej kepada dua bahagian iaitu latar hadapan dan latar belakang.

Proses yang menggabungkan fitur-fitur penting daripada satu set imej untuk membentuk satu imej yang dipertingkatkan dikenali sebagai pelakuran imej. Antara contoh pelakuran imej adalah bagi imej perubatan yang dilakukan oleh (Sivakumar & Helenprabha 2017). Pelakuran kandungan imej ini dilakukan dengan menggabungkan imej-imej yang terhasil daripada pelbagai alat. Kualiti imej yang terhasil akan dipertingkatkan dengan mengurangkan perawakan dan pertindihan daripada imej-

imej sumber. Pelakuran kandungan imej ini bertujuan untuk mempertingkatkan ketepatan imej dan ini memudahkan dalam menjalankan mendiagnos penyakit, penilaian masalah perubatan dan perancangan tugas pembedahan yang memerlukan proses penemberengan, pengekstrakan fitur dan visualisasi imej daripada pelbagai alat. Imej yang terhasil daripada pelakuran imej seharusnya mempunyai sifat-sifat berikut (Sivakumar & Helenprabha 2017):

- i. Maklumat yang berkaitan antara set imej-imej yang diperoleh seharusnya terpelihara.
- ii. Hingar akan menjadi kurang dan imej tidak mempunyai maklumat yang tidak berkaitan.
- iii. Tidak terjejas dan boleh mencapai imej yang konsisten dan tepat.
- iv. Dengan menggunakan pendekatan pelakuran kandungan imej, imej yang terhasil adalah lebih baik dan proses perduaan dapat dilakukan dengan lebih berkesan.

2.1.1 Perduaan Secara Tidak Terselia

Kaedah pengambangan merupakan kaedah perduaan secara tidak terselia yang paling banyak digunakan. Ianya merupakan kaedah yang mudah tetapi efektif untuk mengasingkan latar hadapan dengan latar belakang (Sezgin & Sankur 2004). Walau bagaimanapun terdapat pelbagai faktor pada imej yang menyebabkan kaedah pengambangan menjadi sukar iaitu antaranya pencahayaan yang tidak terang, variasi nilai aras kelabu di antara latar hadapan dan latar belakang dan kontras yang tidak mencukupi (Chaki et al. 2014). Sezgin & Sankur (2004) telah membahagikan algoritma pengambangan ini kepada enam kategori iaitu:

- i. Kaedah berdasarkan maklumat bentuk histogram – penganalisaan akan dibuat terhadap puncak, lembah dan kelengkungan graf histogram.
- ii. Kaedah berdasarkan pengelompokkan – nilai aras kelabu akan dikelompokkan kepada dua bahagian iaitu latar hadapan dan latar belakang atau dimodelkan kepada percampuran dua model *Gaussian*.

- iii. Kaedah berdasarkan maklumat entropi – penghasilan algoritma berdasarkan maklumat entropi antara latar hadapan dengan latar belakang, maklumat silang entropi antara imej asal dan perduaan dan sebagainya.
- iv. Kaedah berdasarkan atribut imej – pencarian ukuran persamaan antara imej aras kelabu dan imej perduaan seperti kesamaan bentuk kabur dan sebagainya.
- v. Kaedah berdasarkan maklumat - penggunaan taburan kebarangkalian aras tinggi dan korelasi antara piksel.
- vi. Kaedah berdasarkan ciri-ciri tempatan imej – penghasilan algoritma dengan menggunakan ciri-ciri tempatan sesuatu imej yang telah dibahagikan kepada beberapa bahagian.

Algoritma pengembangan juga telah dibahagikan kepada dua kategori yang penting oleh sesetengah penyelidik (Chamchong 2010; Ehsan et al. 2015; Ntirogiannis et al. 2014; Wen et al. 2013; Sokratis et al. 2011). Kategori tersebut adalah:

- i. Pengembangan Global
- ii. Pengembangan Tempatan

Pengembangan global diklasifikasikan kepada kaedah berparameter dan tidak berparameter. Kaedah tidak berparameter membahagikan dua kelas nilai aras kelabu dalam keadaan optimum berdasarkan kriteria seperti varians antara kelas, kecapahan, entropi, dan pemuliharaan momen. Manakala kaedah berparameter menganggarkan parameter bagi 2 taburan nilai aras kelabu daripada histogram yang secara amnya dianggap mengikut taburan Gaussian. Kaedah tidak berparameter adalah lebih dipercayai, kukuh dan biasanya lebih cepat (Zuoyong et al. 2010; Humayun et al. 2011). Kaedah tidak berparameter akan menentukan nilai ambangan yang optimum dengan mengoptimumkan fungsi objektif. Antara fungsi objektif yang biasa digunakan ialah kriteria yang berdasarkan kaedah Otsu (1979) iaitu varians di antara kelas.

2.1.2 Pengambangan Global

Pengambangan global adalah kaedah yang menggunakan ciri-ciri keseluruhan imej untuk mendapatkan satu nilai ambangan tunggal untuk imej tersebut. Di dalam kaedah perduaan ini, satu pembolehubah T akan dipilih sebagai nilai ambangan iaitu

$$I_b(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{jika } I_f(x, y) \leq T \\ 1, & \text{jika } I_f(x, y) > T, \end{cases} \quad \dots(2.1)$$

$I_b(x, y)$ adalah imej perduaan yang terhasil dan $I_f(x, y)$ adalah imej asal. Walau bagaimanapun, kaedah pengambangan global ini mempunyai masalah jika imej asal mengandungi pelbagai corak latar belakang atau jika latar belakang imej adalah heterogen (Ehsan et al. 2015; Sokratis et al. 2011). Kaedah pengambangan global mempunyai masa pelaksanaan yang lebih cepat dengan meminimumkan kos pengiraan dan hingar di dalam imej yang terhasil. Walau bagaimanapun hingar tempatan mungkin akan mempengaruhi proses perduaan secara keseluruhan ketika perubahan separa ciri-ciri imej yang menyebabkan terhasilnya imej yang terlebih ambang atau terkurang ambang (Sekeroglu 2007).

Antara penyelidikan awal kaedah pengambangan global yang telah dibuat adalah Riddler & Calvard (1978). Mereka menggunakan kaedah automatik untuk pemilihan nilai ambangan iaitu proses pengklusteran berulang yang berjaya menghasilkan nilai ambangan yang menumpu kepada satu nilai optimum selepas beberapa lelaran. Kebaikan teknik ini adalah dengan mewujudkan aras latar hadapan dan latar belakang, imej yang telah terhasil akan mempunyai latar hadapan yang sentiasa muncul berwarna putih di dalam latar belakang yang gelap. Kemudian penyelidikan yang dibuat oleh Otsu (1979) iaitu kaedah pengambangan global yang menghasilkan nilai ambangan yang optimum melalui kriteria pembezaan iaitu memaksimumkan perpisahan bagi kelas-kelas yang terhasil dalam nilai aras kelabu. Mereka mengatakan kaedah ini adalah mudah dan menggunakan momen kumulatif peringkat kosong dan pertama sahaja dalam histogram nilai aras kelabu.

Pun (1981) telah menyatakan bahawa proses pengambangan yang berdasarkan histogram nilai aras kelabu hanya berkesan apabila nilai ambangan dipilih pada

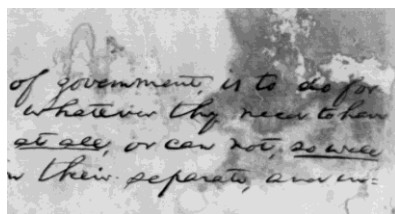
lembah histogram tersebut. Walau bagaimanapun tidak semua histogram nilai aras kelabu mempunyai lembah yang jelas. Penyelidik ini menyatakan operasi ini tidak jelas kerana tiada sesiapa boleh mengatakan berapa banyak elemen imej hitam yang cukup untuk interpretasi yang baik. Tambahan pula histogram hanya memberi informasi statistik order pertama tanpa mengira maksud kandungan imej dan kaedah tersebut hanya sesuai bagi imej yang mempunyai histogram yang bimodal. Oleh itu Pun (1981) telah mencadangkan untuk menggunakan nilai entropi untuk penentuan nilai ambangan. Walau bagaimanapun, penyelidikan yang dijalankan oleh Pun (1981) mempunyai kekurangan iaitu ketika menerbitkan satu batas bawah untuk entropi posterior bagi histogram aras kelabu dalam pengolahan aljabar. Maka Kapur et al. (1985) telah membetulkan formula tersebut.

Salah satu kaedah yang efektif untuk pengambangan adalah dengan mempertimbangkan taburan nilai aras kelabu bagi latar hadapan dan latar belakang (Kittler & Illingworth 1986). Nilai ambangan optimum iaitu nilai ambangan ralat minimum yang diperoleh dengan menggunakan teori keputusan statistik. Kemudian Li & Leet (1993) mencadangkan penyelesaian masalah pemilihan nilai ambangan ini dengan meminimumkan entropi silang di antara imej dengan imej yang telah ditemberengkan. Entropi silang ini diformulasikan di antara piksel dengan piksel di antara dua imej bagi latar hadapan dan latar belakang. Sahoo et al. (1997) mencadangkan kaedah pengambangan dengan menggunakan entropi Renyi (Sahoo et al. 1997). Kaedah ini merupakan pelanjutan daripada dua kaedah pengambangan global iaitu kaedah Kapur et al. (1985) dan kaedah Li & Leet (1993). Kaedah ini mengandungi kaedah penambahan entropi maksimum dan kaedah korelasi entropi.

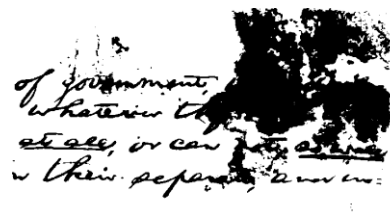
Kaedah Liao et al. (2001) telah menambahbaik kaedah Otsu (1979) kerana kaedah Otsu (1979) mengambil masa yang sangat panjang bagi pengambangan yang pelbagai. Oleh itu mereka telah menggunakan algoritma Otsu rekursif untuk mencari nilai ambangan dengan menilai pra – pengiraan nilai varians antara kelas melalui jadual carian. Dengan menggunakan kaedah ini, masa pengiraan dapat dipendekkan. Penyelidik Tabbone & Wendling (2003) pula telah menggunakan algoritma pelbagai skala yang berdasarkan ujian statistik homogen untuk menentukan latar belakang atau tidak. Di setiap lelaran, imej dilicinkan dengan satu penapis tak linear dengan

menyingkirkan hingar. Rantau yang stabil dalam ruang skala digunakan sebagai satu model mencari secara automatik satu nilai ambangan daripada histogram nilai aras kelabu. Satu formulasi untuk penentuan nilai ambangan juga telah dicadangkan oleh Qiao et al. (2007) dengan menggunakan menggunakan varians dan kontras nilai aras kelabu untuk perpisahan kelas. Batas bagi pemberat diberi kepada latar hadapan dan latar belakang yang bertaburan seragam. Ini akan diikuti dengan prosedur untuk menganggarkan berat daripada maklumat yang sedia ada. Penyelidik Gamil & Abo (2011) pula telah menggunakan fungsi objektif pembezaan *Fisher* untuk menemberengkan latar hadapan. Kriteria pembezaan *Fisher* akan memberikan nilai ambangan yang optimum dengan memaksimumkan perpisahan bagi kelas-kelas yang terhasil dalam nilai aras kelabu.

Rajah 2.1 dan Rajah 2.2 menunjukkan perduaan menggunakan pengambangan global iaitu algoritma Otsu (1979) dan algoritma ralat minimum (Kittler & Illingworth 1986).

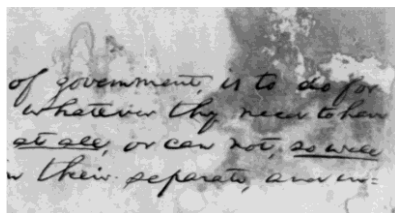


(a)

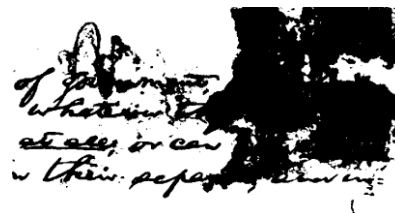


(b)

Rajah 2.1 Perduaan menggunakan algoritma Otsu (1979) (a) Imej aras kelabu (b) Imej perduaan yang terhasil.



(a)



(b)

Rajah 2.2 Perduaan menggunakan algoritma ralat minimum (Kittler & Illingworth 1986) (a) Imej aras kelabu (b) Imej perduaan yang terhasil.

Ada terdapat beberapa kaedah pengambangan global yang popular iaitu kaedah Otsu (1979), kaedah ralat minimum (Kittler & Illingworth 1986) dan kaedah entropi Kapur (Kapur et al. 1985) . Kaedah–kaedah ini akan diperincikan seterusnya.

2.1.3 Kaedah Otsu

Kaedah Otsu (1979) dikatakan salah satu kaedah yang baik untuk pengambangan berdasarkan keseragaman dan pengukuran bentuk bagi imej sebenar yang umum (Ng 2006). Kaedah ini memilih nilai ambangan dengan memaksimumkan varians antara kelas bagi histogram. Wang et al. (2010) menyatakan bahawa kaedah Otsu (1979) sebagai antara kaedah yang paling ringkas dalam senarai 40 kaedah pengambangan yang dibuat oleh penyelidik Sezgin & Sankur (2004). Kaedah Otsu (1979) ini adalah kaedah 1-dimensi yang bergantung hanya kepada histogram aras kelabu yang merujuk kepada taburan aras kelabu bagi sesuatu imej. Kaedah ini tidak mengambil kira korelasi ruang antara piksel-piksel di dalam imej. Oleh itu, ini menyebabkan prestasi pengambangan bagi histogram 1-D mungkin menjadi lebih rendah terutama apabila nisbah isyarat-hingar semakin menurun (Wang et al. 2010).

Sebuah imej boleh diwakilkan dalam L tahap kelabu, $[0, 2, \dots, 255]$. Frekuensi piksel pada tahap l telah ditandakan dengan f dan jumlah frekuensi piksel-piksel adalah

$$N = f_0 + f_2 + f_3 + \dots + f_{255}. \quad \dots(2.2)$$

Kebarangkalian bagi piksel-piksel pada tahap l ditakrifkan sebagai

$$p(l) = \frac{f_l}{N}. \quad \dots(2.3)$$

Keseluruhan imej akan mempunyai purata tahap kelabu iaitu

$$\mu_L = \sum_{l=0}^{255} lp_l. \quad \dots(2.4)$$

Bagi proses perduaan, imej ditemberengkan kepada 2 kelas iaitu untuk nilai ambangan tunggal, C_1 dan C_2 akan mewakili piksel pada pada tahap $[0, 2, 3, \dots, t]$ dan $[t+1, t+2, \dots, 255]$. Kebarangkalian bagi kelas C_1 dan C_2 akan menjadi

$$\omega_1 = \sum_{l=0}^t p_l = \omega_t, \quad (2.5)$$

dan

$$\omega_2 = \sum_{l=t+1}^{255} p_l = 1 - \omega_t. \quad \dots(2.6)$$

Purata tahap kelabu bagi kedua-dua kelas akan dikira sebagai

$$\mu_1 = \sum_{l=0}^t lp_l / \omega_1, \quad \dots(2.7)$$

dan

$$\mu_2 = \sum_{l=t+1}^{255} lp_l / \omega_2. \quad \dots(2.8)$$

Penyelidik Nina et al. (2010) telah menunjukkan bahawa dengan memaksimumkan varians antara kelas

$$\sigma_B^2(t) = \text{maks}(\sigma_B^2(t)) \quad \text{untuk } 0 \leq t \leq 255, \quad \dots(2.9)$$

iaitu

$$\sigma_B^2(t) = \omega_1(\mu_1 - \mu_L)^2 + \omega_2(\mu_2 - \mu_L)^2, \quad \dots(2.10)$$

nilai optimum ambangan, t , akan diperolehi.

Ramai penyelidik telah meningkatkan kaedah Otsu (1979) kerana kaedah ini tidak dapat memberikan nilai ambangan yang optimum. Kaedah Otsu (1979) didapati menghasilkan nilai ambangan yang cenderung ke arah komponen varians kelas yang lebih besar. Dalam kajian awal, terdapat beberapa pengubahsuaian telah dibuat terhadap kaedah Otsu (1979). Kaedah penekanan-lembah (PL) oleh Ng (2006) adalah kaedah yang diubahsuai daripada kaedah Otsu (1979) untuk memilih nilai ambangan secara automatik. Kaedah ini memaksimumkan varians antara kelas di dalam histogram aras kelabu dengan menggunakan kabarangkalian yang kecil. Kaedah ini didapati dapat mencari nilai ambangan bagi imej-imej bimodal dan multimodal. Walau bagaimanapun kaedah ini tidak berjaya dilakukan bagi imej-imej yang mempunyai kecacatan yang kecil kerana imej-imej seperti ini tidak mempunyai cukup maklumat berkenaan lembah. Untuk mengatasi masalah ini, Fan & Lei (2012) telah mencadangkan kaedah pengubahsuaian PL (PPL) dengan menggunakan maklumat kejiranan di sekeliling titik lembah. Dengan mengaplikasikan kaedah ini, didapati

kualiti penemberengan dapat ditingkatkan. Kajian yang dilakukan oleh Ng et al. (2013) telah mengatakan bahawa kaedah Fan & Lei (2012) tidak jelas dalam mengatakan saiz kejiranan yang diperlukan untuk mendapatkan nilai ambangan yang optimum. Oleh itu penyelidik Ng et al. (2013) telah mencadangkan untuk meningkatkan kaedah PL dengan memperkenalkan skim pemberat *Gauss* bagi fungsi objektif untuk meningkatkan kesan pemberat. Kaedah skim pemberat *Gauss* digunakan untuk memastikan lokasi yang jauh daripada calon lokasi nilai ambangan menerima kurang perhatian daripada lokasi yang berhampiran dengan lokasi nilai ambangan. Pemberat yang terhasil adalah lebih signifikan berbanding dengan kaedah kebarangkalian yang digunakan di dalam Ng (2006). Tambahan pula kesan pelicinan tetingkap *Gauss* membuat pemberat yang terhasil kurang terkesan terhadap hingar.

Di dalam kajian yang dilakukan oleh Li et al. (2010b), mereka mengatakan kaedah pengambangan yang berdasarkan varians antara kelas yang maksimum dan kelas varians yang minimum gagal mencapai keputusan penemberengan yang memuaskan. Ini adalah kerana wujudnya perbezaan varians yang besar di antara kelas latar hadapan dan latar belakang. Kajian yang terdahulu hanya mengambilkira kelas varians sahaja sebagai kriteria untuk pemilihan nilai ambangan dan mengabaikan perbezaan varians antara kelas yang besar. Oleh itu Li et al. (2010b) mencadangkan penambahan kelas varians dan perbezaan varians secara serentak untuk membina kriteria statistik untuk pemilihan nilai ambangan. Parameter pemberat telah digunakan untuk mengimbangkan penambahan kelas varians dan perbezaan varians. Hou et al. (2006) telah menggunakan pendekatan yang berdasarkan meminimumkan kelas varians bagi kaedah Otsu (1979). Terma kelas varians di dalam kajian ini adalah mengikut definisi yang tepat bagi kelas varians. Versi peningkatan kaedah Otsu (1979) yang diberi nama varians latar hadapan berpemberat telah dicadangkan oleh Yuan et al. (2015) untuk mendapatkan nilai ambangan yang optimum melalui kebarangkalian kumulatif yang telah diumpukkan kepada parameter pemberat bagi varians latar hadapan. Pemberat ini memastikan nilai ambangan akan sentiasa menjadi satu nilai yang terletak pada lembah di antara dua puncak atau di bahagian bawah kiri bagi historam yang mempunyai satu puncak. Ini adalah kerana ianya penting untuk mendapatkan perkadaran yang rendah bagi bilangan sampel yang tiada kecacatan tetapi dikesan sebagai cacat dalam pengesanan kecacatan. Walau bagaimanapun,

kaedah ini gagal bagi imej yang mempunyai kecacatan yang besar iaitu bagi imej yang mempunyai taburan unimodal (histogram satu puncak). Kaedah yang dicadangkan oleh Malarvel et al. (2017) pula telah mencadangkan kaedah yang secara automatik dapat memilih nilai ambangan yang diperlukan dengan mengadaptasi taburan *Weibull* bagi penemberengan kecacatan pengimpal. Nilai kebarangkalian yang terkecil bagi nilai aras kelabu untuk keseluruhan imej akan dianggap sebagai parameter berpemberat bagi kelas latar belakang untuk kriteria antara kelas Otsu (1979). Malah, telah ditentukan juga nilai ambangan yang diperoleh akan sentiasa berada pada kiri bahagian bawah bagi taburan unimodal jika kecacatan adalah lebih kecil daripada kawasan latar belakang. Penyelidik Hu et al. (2006) pula telah menggunakan julat perkadaran bagi latar belakang imej dengan kawasan berkepentingan untuk penentuan julat nilai ambangan. Mereka telah memperolehi keputusan yang memuaskan dalam menemberengkan imej resonans magnetik dan imej tomografi bagi otak manusia. Di dalam kajian Qiao et al. (2007), penyelidik mencadangkan kriteria yang menggunakan penambahan berpemberat bagi varians antara kelas dan juga kontras bagi nilai aras kelabu untuk menemberengkan objek-objek latar hadapan yang kecil dengan meneroka pengetahuan berkenaan kontras nilai aras kelabu. Xu et al. (2011) telah menganalisa sifat-sifat kaedah Otsu (1979) dan mendapati nilai ambangan yang terhasil adalah sama dengan purata bagi aras purata untuk dua kelas yang telah dibahagikan oleh nilai ambangan ini.

Kaedah Otsu juga ada yang dijalankan secara adaptif. Penyelidik (Farrahi & Cheriet 2012) telah memperkenalkan kaedah Otsu yang adaptif dan tanpa parameter bagi perduaan imej dokumen iaitu dinamakan kaedah *AdOtsu*. Sifat adaptif ini diperoleh dengan menggabungkan model berasaskan grid dan juga penganggaran peta latar belakang. Penganggaran peta latar belakang digunakan sebagai maklumat awal untuk membezakan sama ada teks atau bukan teks. Nilai penganggaran latar belakang dikira melalui proses butstrap yang secara tersiratnya menggabungkan kaedah perduaan yang dicadangkan. Kaedah *AdOtsu* ini berasaskan pengelasan pelbagai aras dan anggaran latar belakang dikira menggunakan pendekatan skala pelbagai bermula dengan imej perduaan yang kasar. Anggaran latar belakang kemudiannya dipertingkatkan lagi dan digeneralisasikan kepada bentuk skala pelbagai dengan menggunakan rangka kerja yang dibina oleh penyelidik yang sama di dalam Farrahi et

al. (2010). Bentuk skala pelbagai ini berupaya untuk memisahkan pola-pola yang hingar daripada teks yang sebenar dengan menggunakan skala yang lebih tinggi. Rangka kerja skala pelbagai ini dipertingkatkan dengan mengeluarkan piksel teks teras yang berat sebelah. Permodelan berasaskan grid digunakan untuk mengurangkan kos pengiraan. Sifat tanpa parameter diperoleh dengan menganggarkan parameter-parameter imej dokumen iaitu purata lebar ketukan dan purata ketinggian baris imej dokumen secara automatik. Pembetulan pasca pemprosesan sama ada secara topologi atau pengelompokkan dapat membantu untuk meningkatkan keputusan akhir.

Kaedah adaptif Otsu juga dibuat oleh Zhang & Wu (2011) dengan membahagikan imej kepada 32×32 blok. Kaedah Otsu (1979) akan digunakan untuk proses perduaan bagi setiap blok. Blok-blok ini akan kemudiannya dibahagikan kepada dua bahagian iaitu blok normal dan blok latar belakang. Blok latar belakang ini mengandungi teks tiruan yang menyebabkan penemberengan imej dokumen tidak memuaskan. Selepas itu blok latar belakang ini akan dikelaskan mengikut syarat yang telah ditetapkan. Penyelidik Nina et al. (2010) telah mencadangkan dua algoritma untuk meningkatkan kaedah Otsu (1979) iaitu yang pertama adalah pengambangan rekursif kaedah Otsu (1979) dan penapisan dua hala untuk membolehkan perduaan imej secara automatik. Manakala yang kedua adalah juga pengambangan rekursif kaedah Otsu (1979) dan ditambahkan dengan proses penormalan latar belakang dan diikuti dengan pasca pemprosesan. Algoritma yang dihasilkan adalah baik secara kualitatif. Walau bagaimanapun, lebih banyak analisa secara kuantitatif perlu dilakukan bagi algoritma yang dihasilkan.

Banyak lagi kajian yang telah dibuat untuk meningkatkan kaedah Otsu (1979) seperti yang telah dicadangkan oleh Xue & Titterington (2011), Yang et al. (2012) dan Cai et al. (2014) yang berasaskan kelas varians secara individu. Di dalam kajian yang dijalankan oleh Xue & Titterington (2011), kaedah berasaskan median telah digunakan dan mengambil kira pendekatan interpretasi teori bagi gabungan taburan *Laplace*. Di dalam kaedah ini, sisihan mutlak purata daripada median digunakan untuk menganggarkan lokasi dan serakan berbanding hanya menggunakan anggaran purata sahaja. Kaedah Xue & Titterington (2011) sesuai untuk imej-imej yang mempunyai taburan yang terpencong kerana nilai median adalah teguh terhadap nilai-nilai data

yang terlalu kecil atau besar berbanding dengan nilai purata. Kajian Yang et al. (2012) juga telah menggunakan nilai median bagi menggantikan purata bagi latar hadapan dan latar belakang. Nilai ambangan yang optimum diperoleh dengan memaksimumkan varians antara kelas. Penyelidik Cai et al. (2014) telah mencadangkan satu kaedah teknik pengembangan yang mengandungi lelaran bagi tiga kelas. Kaedah ini mengasingkan imej kepada tiga kelas berbanding dengan hanya dua kelas bagi kaedah Otsu (1979). Permulaan kaedah ini adalah akan mengasingkan latar hadapan dan latar belakang dengan menggunakan nilai ambangan yang diperoleh daripada kaedah Otsu (1979) dan satu kawasan baru akan diperoleh daripada proses lelaran kedua. Proses lelaran ini akan berhenti jika perbezaan antara dua nilai ambangan yang berturutan adalah kurang daripada satu nilai khusus yang telah ditetapkan.

Kaedah Otsu 1-dimensi yang hanya menggunakan maklumat nilai aras kelabu dan tanpa mempertimbangkan maklumat ruang kejiranan, adalah susah untuk mendapatkan keputusan penemberengan yang memuaskan bagi imej-imej yang mempunyai hingar pencahayaan yang tidak sekata dan apabila nisbah isyarat-hingar semakin berkurangan. Kaedah Otsu 2-dimensi (Jianzhuang et al. 1991) dicadangkan untuk mendapatkan keputusan penemberengan yang lebih baik dengan menggunakan kedua-dua maklumat nilai aras kelabu bagi setiap piksel dan juga maklumat korelasi ruang antara kejiranan piksel. Walau bagaimanapun, kaedah ini akan meningkatkan kekompleksan pengiraan dan sukar untuk digunakan bagi sistem masa nyata (Yuan et al. 2015). Faktor-faktor yang tidak menentu yang biasanya ditemui dalam situasi praktikal seperti campuran hingar dan kontras yang rendah pada imej membuatkan historam 2-dimensi tidak dapat menunjukkan lembah yang jelas di antara dua puncak dan ini menghasilkan keputusan yang tidak baik bagi kaedah Otsu 2-dimensi. Kemudian kaedah Otsu 3-dimensi telah dicadangkan oleh Jing et al. (2003) dengan dimensi ketiga yang digunakan adalah nilai median bagi piksel-piksel kejiranan. Kaedah Otsu 3-dimensi dijangkakan dapat memberikan keputusan penemberengan yang lebih baik berbanding kaedah Otsu 2-dimensi bagi imej-imej yang mempunyai kontras yang rendah dan nisbah isyarat-hingar yang rendah. Ini adalah kerana penapis purata dan penapis median dapat mengurangkan hingar *Gaussian* dan hingar hitam-putih. Dengan menambahkan median, ianya menyebabkan peningkatan kos pengiraan dan ini merupakan kekurangan untuk aplikasi masa nyata yang memerlukan proses

pengembangan yang pantas. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa algoritma telah dicadangkan. Jing et al. (2003) telah mencadangkan algoritma rekursif untuk mengurangkan darjah kekompleksan daripada $O(L^6)$ kepada $O(L^3)$ di dalam kaedah Otsu 3-dimensi dengan L adalah bilangan nilai aras kelabu bagi sesuatu imej. Berdasarkan keputusan ini juga Fan et al. (2007) mencadangkan satu kumpulan formula yang rekursif. Darjah kekompleksan kekal $O(L^3)$ tetapi masa dapat dikurangkan. Penyelidik Lei et al. (2008) pula telah menghasilkan pernyataan bagi nilai ambang dan menghapuskan pertindihan di dalam formula keputusan melalui penghasilan pemeriksaan terhadap jawapan yang diperoleh. Walau bagaimanapun ini menyebabkan masa telah bertambah kerana masa digunakan untuk pencarian jawapan di dalam jadual keputusan. Masa kekompleksan pula telah dikurangkan kepada $O(L^2)$. Untuk mengurangkan kesan hingar dan sisi yang lemah, penyelidik Feng et al. (2017) telah menggunakan pendekatan skala pelbagai di dalam algoritma penemberengan. Keseluruhan prosedur dilihat sebagai prosedur lelaran bagi kaedah Otsu 3-dimensi. Keputusan akhir diperoleh apabila kesemua keputusan penemberengan disatukan dengan menggunakan peraturan pengundian majoriti.

Proses pencarian nilai ambangan yang optimum ini boleh juga dilihat sebagai masalah pengoptimuman. Penyelidik Chun et al. (2007) telah menggunakan algoritma genetik untuk mencari parameter penemberengan untuk penghasilan nilai ambangan yang optimum bagi kaedah Otsu 2-dimensi. Kaedah pengoptimuman *particle swarm* (Kennedy & Eberhart 1995) dan pengoptimuman *quantum particle swarm* (Han & Kim 2002) telah digunakan juga untuk kaedah Otsu 2-dimensi. Untuk kaedah Otsu 3-dimensi, penyelidik Wang et al. (2010) telah menggunakan algoritma *shuffled frog-leaping*.

Secara umumnya, jenis kajian yang meningkatkan kaedah Otsu (1979) dan ukuran prestasi yang digunakan dapat diringkaskan seperti di dalam Jadual 2.1 berikut.

Jadual 2.1 Kajian peningkatan kaedah Otsu (1979) dan ukuran prestasi yang digunakan.

No	Penyelidik	Jenis Kajian	Ukuran Prestasi yang digunakan
1	Ng (2006)	Pengesanan kecacatan terhadap pemeriksaan pencemaran, badan seramik dan kepingan logam.	Ralat pengelasan
2	Li et al. (2010)	Pelbagai daripada imej-imej dunia sebenar termasuk yang dalam pelapisan pengujian tanpa musnah (NDT) dan laser telah dipilih untuk tujuan ujian.	Ralat pengelasan, kadar positif palsu dan kadar negatif palsu
3	Yuan et al. (2015)	Pengesanan kecacatan terhadap besi, kayu dan	Ralat pengelasan, kadar pengesanan, kadar panggilan palsu
4	Farrahi et al. (2012)	Imej dokumen DIBCO2009.	Ukuran- F , <i>precision</i> , <i>recall</i>
5	Nina et al. (2010)	Imej dokumen DIBCO2009.	Ukuran- F , <i>peak signal to noise ratio</i> , <i>negative rate metric</i>
6	Malarvel et al. (2017)	Imej digital kimpalan X-radiografi.	Ralat pengelasan
7	Ng et al. (2013)	Imej pengujian tanpa musnah (<i>non-destructive testing</i> (NDT)).	Ralat Pengelasan
8	Yu et al. (2017)	Imej penderiaan jauh untuk mengesan tumpahan minyak.	Kadar ralat
9	Huang & Wang (2009)	Imej tulisan tangan CEDAR dan imej cap jari FVC2000.	Ralat pengelasan
10	Sha et al. (2016)	Imej sintetik.	Kadar penemberengan betul

Berdasarkan Jadual 2.1, didapati, kaedah Otsu (1979) banyak digunakan untuk pelbagai jenis imej dan ukuran prestasi ralat pengelasan banyak digunakan untuk menilai kaedah Otsu (1979).

2.1.4 Kaedah Ralat Minimum

Kittler & Illingworth (1986) telah memperkenalkan kaedah ralat minimum yang berasaskan pengelompokan imej akan bermula dengan memilih satu nilai ambangan K dan kemudian membandingkan kedua-dua bahagian bagi K untuk menentukan ralat. Kemudian, nilai K akan dialihkan dan ralat akan dibandingkan untuk mencari ralat

yang minimum. Nilai K yang memberikan ralat minimum akan diambil sebagai nilai ambangan.

$$J(k) = \min_K J(K), \quad \dots(2.11)$$

dengan $J(k)$ adalah nilai ambangan bagi ralat minimum dan $J(K)$ adalah fungsi kriteria. Secara amnya,

$$J(K) = 1 + 2[P_1(K) \log \sigma_1(K) + P_2(K) \log \sigma_2(K)] - 2[P_1(K) \log P_1(K) + P_2(K) \log P_2(K)]. \quad \dots(2.12)$$

P_1 dan P_2 merujuk kepada kebarangkalian priori dan σ_1 dan σ_2 merujuk kepada sisihan piawai bagi kiri dan kanan K . Kaedah ralat minimum ini akan gagal jika taburan kebarangkalian bagi latar hadapan dan latar belakang adalah tidak hampir antara satu sama lain.

2.1.5 Kaedah Entropi Kapur

Kapur et al. (1985) pula telah memperkenalkan kaedah entropi iaitu dengan membahagikan sesuatu imej kepada dua kelas iaitu latar belakang dan latar hadapan dan menganggapkan kelas-kelas ini mempunyai sumber isyarat berbeza. Titik maksimum bagi penambahan entropi bagi kedua-dua kelas akan di ambil sebagai nilai ambangan yang ditakrifkan sebagai

$$K = Maks[H_h(K) + H_b(K)]. \quad \dots(2.13)$$

$H_h(K)$ dan $H_b(K)$ adalah entropi latar hadapan dan latar belakang bagi imej tersebut masing-masing dan ditakrifkan sebagai

$$H_h(K) = - \sum_{g=0}^K \left(\frac{p(g)}{P(K)} \cdot \frac{\log p(g)}{P(K)} \right), \quad \dots(2.14)$$

$$H_b(K) = -\sum_{g=K+1}^G \left(\frac{p(g)}{P(K)} \cdot \frac{\log p(g)}{P(K)} \right), \quad \dots(2.15)$$

$p(g)$ dan $P(K)$ adalah fungsi ketumpatan kebarangkalian dan kebarangkalian luas, masing-masing. Antara kekurangan kaedah Entropi Kapur ini ialah kaedah ini melibatkan pengiraan yang banyak (More & Dighe 2016).

Kebaikan utama bagi pengembangan global ini ialah masa perlaksanaannya adalah pendek dan imej yang terhasil juga kurang hingar. Walau bagaimanapun pengembangan global boleh menyebabkan pengembangan terlebih atau pengembangan terkurang yang akan menyebabkan kehilangan maklumat yang berguna dan ini bergantung kepada ciri-ciri sesuatu imej.

2.1.6 Pengembangan Tempatan

Pengembangan tempatan adalah kaedah yang menggunakan nilai ambang yang berbeza-beza untuk beberapa segmen di dalam imej. Kaedah pengembangan tempatan digunakan untuk mengatasi masalah yang terdapat dalam kaedah pengembangan global. Piksel imej akan diklasifikasikan kepada latar hadapan atau latar belakang bergantung kepada pengembangan tempatan yang ditentukan oleh kawasan kejiranan sekeliling (Sokratis et al. 2011). Kaedah ini teguh kepada kehadiran pelbagai hingar di dalam imej. Walau bagaimanapun, kaedah pengembangan tempatan mempunyai masalah kos pengiraan yang tinggi untuk menentukan nilai ambang tempatan bagi setiap piksel atau segmen. Di samping itu, kaedah pengembangan tempatan adalah berparameter dan memerlukan pemilihan nilai parameter secara manual. Oleh itu prestasi kaedah ini sensitif kepada nilai parameter yang dipilih (Ehsan et al. 2015). Kaedah ini juga lebih kompleks dan mengambil masa yang lebih lama (Sekeroglu 2007). Menurut Chen et al. (2016), kaedah pengembangan tempatan selalunya menghadapi dua masalah yang besar iaitu pengiraan yang kompleks (Chen & Wang 2017) dan sensitif terhadap parameter baru. Antara penyelidikan kaedah pengembangan tempatan yang telah dibuat adalah seperti di dalam Jadual 2.2.

Jadual 2.2 Penyelidikan kaedah pengambangan tempatan.

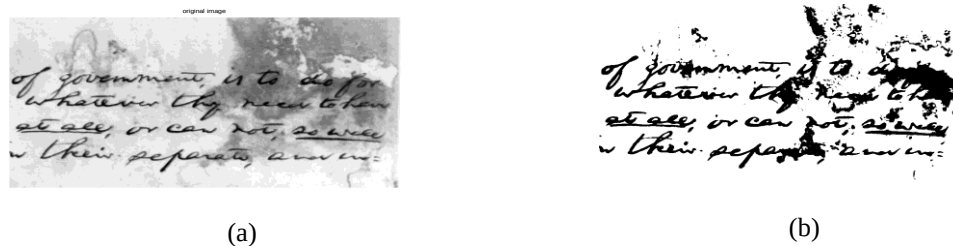
No	Kajian	Fitur Utama	Teknik yang digunakan	Batasan
1	Nakagawa & Rosenfeld (1979)	Nilai aras kelabu	Menggunakan maklumat tempatan pada taburan nilai aras kelabu untuk menghasilkan nilai ambangan mudah suai.	Sensitif terhadap bayangan yang wujud.
2	Niblack (1985)	Purata dan sisihan piawai	Imej dibahagikan kepada beberapa bahagian yang tidak bertindih dan nilai ambangan akan bergantung kepada purata dan sisihan piawai bagi nilai aras kelabu piksel bahagian tersebut.	Hingar wujud pada kawasan yang tiada teks maka teknik ini memerlukan pra dan pasca pemprosesan. Oleh itu kaedah ini mewujudkan hingar tambahan.
3	Yanowitz & Bruckstein (1988)	Nilai kecerunan	Menggunakan peta kecerunan yang merujuk kepada sempadan objek. Nilai lokasi dan nilai aras kelabu pada sempadan objek akan di interpolasi dan menghasilkan nilai permukaan ambang.	Bergantung kepada pengesanan sisi yang tepat
4	Oh et al. (1999)	Penganggaran varians minimum	Algoritma 2 aras iaitu pengenalan kepada sebahagian imej dan penemberengan dilakukan oleh petunjuk varians minimum (<i>kriging</i>) dengan menggunakan penganggaran data yang diperlukan oleh petunjuk fungsi kovarians.	
5	Sauvola & Pietikainen (2000)	Purata tempatan m , sisihan piawai s , parameter k merupakan nilai positif yang selalu disetkan kepada 0.5, parameter R pula disetkan kepada 128.	Dua pendekatan digunakan: Kaedah keputusan lembut bagi latar belakang dan latar hadapan dan kaedah perduaan teks bagi data teks dan garisan. Kaedah ini menggunakan purata dan sisihan piawai bagi setiap piksel yang digunakan untuk mengira nilai ambangan tempatan. Nilai parameter k dan saiz tetingkap memberikan kesan yang besar terhadap kualiti imej. Kaedah ini baik untuk imej dokumen yang mempunyai variasi latar belakang yang besar. Algoritma ini mengira nilai ambangan untuk setiap piksel bergantung kepada maklumat pada kejiranan tempatan. Nilai ambangan ini secara adaptif akan bergantung kepada nilai kontras tempatan. Nilai ambangan menggunakan teknik Sauvola adalah : $T = m * (1 - k * (1 - \frac{s}{R}))$	Masa pengiraan yang lama disebabkan pemilihan saiz tetingkap dan sensitif terhadap variasi kontras.

bersambung...

...sambungan

6	Yang & Yan (2006)	Histogram	Teknik tahap logik mudah suai.	Tidak sesuai untuk mengambang imej manusia dan imej pemandangan.
7	Gatos et al. (2006)	Nilai aras kelabu bagi latar belakang	Teknik yang bersiri iaitu bermula dari pra pemprosesan, penganggaran kawasan latar hadapan, pengiraan permukaan latar belakang, pengambangan dan akhirnya pasca pemprosesan.	Tidak memberikan keputusan yang baik pada imej yang beresolusi rendah
8	Bataineh et al. (2011)	Purata dan sisihan piawai	Menggunakan tetingkap yang fleksibel dan dinamik	
9	Yazid & Arof (2013)	Nilai kecerunan	Menggunakan nilai kecerunan untuk pengambangan.	
10	Su et al. (2013)	Nilai kontras dan kecerunan bagi imej tempatan	Menggunakan kontras imej mudah suai.	Memerlukan sedikit peningkatan dalam sesetengah imej dalam pangkalan data DIBCO
12.	Chen & Wang (2017)	Purata bukan tempatan	Purata bukan tempatan telah di pertingkatkan dan digunakan untuk menghilangkan hingar pada imej dalam langkah pra pemprosesan. Kemudian, kaedah Wellner digunakan untuk mengambangkan imej. Untuk perduaan yang lebih baik, pasca pemprosesan telah dilakukan iaitu menghilangkan bintik-bintik, mengekalkan kesinambungan ketukan dan meningkatkan kualiti kawasan-kawasan teks.	Pengiraan yang memakan masa lama
13.	Vats et al. (2017)		Kaedah ini menggunakan pendekatan dua <i>band-pass</i> penapis bagi menghilangkan hingar. Kaedah penapisan band-pass digunakan dalam frekuensi yang tinggi untuk memisahkan teks iaitu latar hadapan daripada latar belakang. Kemudian seterusnya penapisan <i>band-pass</i> frekuensi rendah digunakan sebagai topeng untuk menghilangkan hingar. Parameter-parameter yang terlibat bagi algoritma dua penapisan <i>band-pass</i> termasuklah nilai ambang untuk menghilangkan hingar, saiz topeng yang digunakan adalah dinamik berdasarkan kadar degradasi yang ada pada imej dokumen. Kaedah pengoptimum Bayesian digunakan untuk mengoptimumkan parameter-parameter yang terlibat.	

Kaedah pengambangan tempatan selalunya menghasilkan imej yang lebih baik kerana kurang maklumat yang hilang dan boleh digunakan pada imej yang berpencahayaan tinggi. Walau bagaimanapun saiz segmen yang kecil akan menyebabkan hingar tambahan terhasil, masa pemprosesan yang lebih panjang dan algoritmanya lebih kompleks. Rajah 2.3 menunjukkan perduaan menggunakan salah satu teknik pengambangan tempatan iaitu teknik Sauvola (Sauvola & Pietikainen 2000).



Rajah 2.3 Perduaan menggunakan algoritma Sauvola (a) Imej aras kelabu (b) Imej perduaan yang terhasil.

Dalam perduaan secara terselia, peraturan untuk perduaan akan dipelajari oleh algoritma pengelas berdasarkan set latihan daripada penemberengan imej kesahihan asal yang telah disediakan oleh pakar Fraz et al. (2012). Perduaan secara terselia banyak dilakukan kerana pengetahuan awal bagi sesuatu imej adalah penting. Pengetahuan awal membolehkan proses pembelajaran terhadap fitur-fitur yang sedia ada dilakukan dan dapat mencuba untuk menganggarkan satu fungsi yang konsisten dengan data yang sedia ada. Jika data-data sedia ada mencukupi, anggaran fungsi yang dibuat akan hampir kepada sasaran dan menghasilkan satu generalisasi kepada data-data yang diuji (Niyogi et al. 1998). Penerangan lebih lanjut berkenaan perduaan secara terselia adalah di dalam seksyen 2.4.

2.2 PENORMALAN FITUR

Kaedah penormalan adalah satu proses yang menukarkan parameter-parameter imej yang berlainan kepada nilai yang lebih mudah. Ianya digunakan untuk mengurangkan variasi antara kelas (Chmielnicki et al. 2011; Liu et al. 2004). Kaedah penormalan juga dirujuk sebagai satu kaedah yang menukarkan satu indeks daripada satu nilai kepada

satu nilai yang terletak dalam julat yang dikehendaki (Nguyen et al. 2012). Di dalam kajian yang dijalankan oleh Liu et al. (2004), mereka mengatakan bahawa di dalam fasa pra pemprosesan, kaedah penormalan akan mempengaruhi kadar pengecaman huruf. Pencahayaan boleh berubah-ubah mengikut keadaan struktur permukaan yang menerima cahaya tersebut (Cernadas et al. 2017). Variasi dalam pencahayaan ini boleh disebabkan oleh variasi spektrum dalam punca cahaya dan kepada kamera dan juga kedudukan kamera. Dalam kajian yang dijalankan oleh Cernadas et al. (2017), prestasi pengelasan tekstur warna boleh dipengaruhi oleh keadaan pencahayaan. Salah satu cara untuk menyelesaikan masalah pencahayaan yang tidak sekata ini adalah melalui proses penormalan imej.

Penormalan dimensi huruf adalah kaedah pra pemprosesan yang paling efisien di dalam kajian pengecaman huruf (Güdesen 1976). Kajian oleh Luo et al. (2013) telah menunjukkan bahawa kaedah penormalan digunakan untuk mengurangkan pencahayaan dalam kajian pengecaman muka. Di dalam kajian yang dilakukan oleh Dalal & Triggs (2005) untuk pengesanan manusia menggunakan *Histogram of Oriented Gradients* (HOG), kaedah penormalan digunakan untuk nilai kecerunan kerana nilai gradien ini berubah-ubah menyebabkan variasi dalam pencahayaan dan juga kontras antara latar hadapan dan latar belakang. Dengan mengaplikasikan kaedah penormalan ini, prestasi pengesanan manusia didapati meningkat.

Di dalam perduaan, kaedah penormalan telah dijalankan di dalam beberapa kajian. Antaranya adalah Sayali et al. (2014) yang menggunakan kecerunan imej tempatan dan kontras imej tempatan untuk meningkatkan perduaan imej dokumen yang rosak. Algoritma anggaran sisi digunakan untuk mengenalpasti piksel sisi ketukan teks. Teks yang terletak dalam dokumen kemudiannya ditemberengkan dengan menggunakan teknik pengambangan yang berdasarkan ketinggian dan lebar saiz huruf yang wujud dalam imej dokumen yang rosak. Kecerunan imej perlu dinormalkan untuk meminimalkan variasi di dalam imej bagi mengekstrakan ketukan sisi. Di dalam kajian Shi et al. (2005), algoritma yang dihasilkan menggunakan dua kaedah penormalan untuk nilai aras kelabu latar belakang. Ini adalah untuk meningkatkan kualiti imej sebelum perduaan tempatan mudah suai diaplikasikan. Algoritma penormalan imej yang digunakan adalah fungsi linear dan tidak linear

mudah suai untuk menganggarkan latar belakang yang tidak sekata disebabkan oleh permukaan kertas, warna dan sumber pencahayaan yang tidak sekata. Penyelidik Su et al. (2010) telah menggunakan nilai kontras imej yang berasaskan nilai maksimum dan minimum imej tempatan. Kontras imej adalah lebih stabil kepada pencahayaan yang tidak sekata dan pelbagai masalah pada imej dokumen berbanding kecerunan imej. Untuk mengesan imej piksel yang mempunyai kontras yang tinggi yang wujud di sekitar sempadan ketukan teks, kecerunan imej perlu dinormalkan untuk meminimalkan kesan kontras imej. Pada masa yang sama proses penormalan akan mengecilkan variasi dalam latar belakang dokumen. Kajian bagi penyelidik Nina et al. (2010) telah mencadangkan dua algoritma bagi imej dokumen yang rosak. Algoritma pertama adalah penggabungan kaedah pengambangan Otsu (1979) yang telah ditingkatkan dengan penapisan dua hala terpilih bagi perduaan automatik. Manakala algoritma kedua adalah berdasarkan kaedah Otsu rekursif dan penormalan latar belakang dan disambung pula dengan pasca pemprosesan kepada algoritma. Ini menjadikan algoritma tersebut teguh dan perduaan dapat dilakukan dengan baik walaupun untuk imej dokumen yang telah diselaputi dakwat. Kajian yang dibuat oleh Peng & Hsu (2009) telah mencadangkan satu kaedah yang menggunakan saiz kejiranan tempatan mudah suai dan pengambangan berganda. Kaedah ini dapat menemberengkan imej dengan teliti terhadap struktur-struktur yang relevan dalam imej, teguh terhadap hingar latar belakang dan variasi. Mereka telah menemberengkan mitokondria dalam mikrograf sel pendarfluor. Daripada kajian-kajian yang telah dibincangkan, didapati banyak kaedah perduaan yang dicadangkan menggunakan proses penormalan untuk mengurangkan variasi pencahayaan pada imej.

2.2.1 Kaedah-Kaedah Penormalan

Kaedah penormalan boleh digunakan untuk skala data kepada nilai yang mempunyai julat yang sama untuk setiap input fitur untuk meminimumkan masalah kecenderungan. Penormalan fitur juga dapat mempercepatkan masa pemprosesan terutama jika melibatkan latihan fitur-fitur dan berguna untuk aplikasi permodelan kerana setiap jenis fitur secara amnya mempunyai pelbagai skala. Terdapat pelbagai kaedah penormalan yang digunakan untuk fitur. Antaranya adalah:

1. Penormalan z-skor (Jayalakshmi & Santhakumaran 2011)

Teknik ini menggunakan purata (μ) dan sisihan piawai (σ) untuk penormalan setiap input vektor fitur. Purata dan sisihan piawai dikira untuk setiap jenis fitur. Transformasi kaedah penormalan ini diberi oleh persamaan

$$x' = \frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \quad \dots(2.16)$$

Ini menghasilkan data dengan setiap fitur mempunyai purata 0 dan sisihan piawai adalah 1. Kelebihan kaedah penormalan statistik ini ialah ianya dapat mengurangkan kesan nilai tersisih.

2. Penormalan Min-Maks (Aksoy & Haralick 2001)

Kaedah ini skala data semula setiap fitur daripada satu julat kepada satu julat yang baru. Kebiasaannya fitur ini berada dalam julat 0 ke 1. Skala data ini menggunakan formula linear iaitu

$$x' = \frac{(x_i - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} \quad \dots(2.17)$$

Perbezaan dengan kaedah penormalan z-skor, kaedah penormalan ini menghasilkan nilai sisihan piawai yang lebih kecil. Kaedah penormalan min-maks mempunyai kelebihan mengekalkan semua hubungan di kalangan data (Jayalakshmi & Santhakumaran 2011).

3. Penormalan median (Jayalakshmi & Santhakumaran 2011)

Kaedah median menormalkan setiap data dalam sampel dengan median bagi setiap data mentah bagi semua input fitur dalam sesuatu sampel. Kaedah ini berguna jika ada keperluan untuk mengira nisbah di antara dua sampel yang bergabung. Nilai median tidak dipengaruhi oleh magnitud nilai-nilai ekstrem. Kaedah ini lebih baik digunakan untuk penghasilan taburan kebarangkalian.

$$x' = \frac{x_i}{\text{median}(a_i)}, \quad \dots(2.18)$$

dengan a_i adalah input fitur dalam sesuatu sampel.

4. Penormalan *sigmoid* (Jayalakshmi & Santhakumaran 2011)

Penormalan *sigmoid* digunakan untuk skala data kepada julat 0 ke 1 atau 1 ke -1. Penormalan *sigmoid* adalah pilihan yang baik untuk mempercepatkan proses penormalan terutama untuk menganggarkan parameter daripada data yang mempunyai hingar yang banyak.

$$x' = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}. \quad \dots(2.19)$$

5. Penormalan Skala *Softmax* (Singh et al. 2015)

Ini adalah kaedah penormalan tidak linear yang boleh digunakan bagi keadaan data adalah tidak tertabur dengan sama rata di sekeliling nilai purata. Dalam kes sebegini transformasi kepada fungsi tidak linear boleh digunakan untuk memetakan data kepada julat yang telah tertentu. Kaedah penormalan skala *softmax* akan menukar data secara tidak linear kepada julat 0 ke 1. Penormalan skala *softmax* diberi oleh:

$$x' = \frac{1}{1+e^{-y}}, \quad \dots(2.20)$$

$$\text{dengan } y = \frac{x_i - \bar{x}}{r\sigma},$$

r adalah parameter yang didefinisikan oleh pengguna, $\bar{x}$ adalah purata dan σ adalah sisihan piawai.

6. Penormalan statistik lajur (Jayalakshmi & Santhakumaran 2011)

Kaedah penormalan statistik lajur menormalkan setiap data dengan nilai penormalan lajur. Setiap lajur dinormalkan kepada magnitud 1. Data penormalan diperoleh dengan

membahagikan setiap data dengan nilai penormalan lajur dan didarabkan dengan nilai kecenderungan yang kecil.

$$x' = \frac{x_i - n(c_a)}{n(c_a)} \times 0.1, \quad \dots(2.21)$$

dengan $n(c_a)$ adalah nilai penormalan lajur.

7. Penormalan kedudukan (Aksoy & Haralick 2001)

Diberi sampel bagi komponen fitur untuk semua imej sebagai $x_1, x_2, \dots, x_n$ dan kemudian tertib statistik dicari iaitu $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$. Gantikan setiap nilai fitur imej dengan penormalan kedudukan yang sepadan iaitu

$$x' = \frac{\text{rank}(x_i) - 1}{n - 1}, \quad \dots(2.22)$$

dengan x_i adalah nilai fitur imej ke- i . Prosedur ini secara seragam memetakan semua nilai fitur kepada julat 0 ke 1. Apabila terdapat lebih daripada satu imej dengan nilai fitur yang sama, maka fitur ini akan ditetapkan dengan purata kedudukan.

8. L1-Norm (Dalal & Triggs 2005; Xie et al. 2016; Cheng et al. 2014)

Algoritma yang berdasarkan L1-Norm boleh mengekalkan imej yang mempunyai sisi yang lebih jelas. Tambahan pula L1-Norm teguh terhadap nilai tersisih dan putaran. Keputusan yang diperoleh dengan menggunakan L1-Norm didapati tertumpu kepada lokasi yang mempunyai kecerunan dan lengkungan yang tidak konsisten. Oleh itu kaedah ini bagus bagi imej yang mempunyai kawasan yang bertindih dan perincian imej lebih baik (Cheng et al. 2014). Formulanya adalah:

$$\text{L1-Norm, } v \rightarrow v / (\|v\|_1 + \epsilon) \text{ dengan } \|v\|_1 = \sum |x_n|. \quad \dots(2.23)$$