

**PENGESANAN DENSITI PAYUDARA UNTUK PENGKELASAN BIRADS
IMEJ MAMOGRAM**

oleh

NAFIZA BINTI SAIDIN

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Doktor Falsafah**

September 2014

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah yang maha pemurah, maha pengasih dan maha penyayang. Dipanjatkan syukur yang tidak terhingga kerana dengan izinNya, dengan nikmat akal dan kesihatan yang membolehkan siapnya penyelidikan dan penulisan tesis ini bagi memenuhi keperluan pengijazahan peringkat doktor falsafah.

Pada kesempatan ini, saya ingin memanjatkan penghargaan kepada penyelia utama Prof. Madya Dr. Harsa Amylia Mat Sakim di atas segala sokongan, bantuan, nasihat serta teguran yang membina sepanjang penyelidikan ini. Berbanyak terima kasih ditujukan kepada penyelia bersama pertama Prof. Madya Dr. Umi Kathum Ngah di atas sumbangan idea, tunjuk-ajar, keprihatinan dan motivasi yang sentiasa diberikan. Dan juga terima kasih kepada penyelia bersama kedua Prof. Ibrahim Lutfi Shuaib yang telah bersedia memberikan khidmat perundingan dalam penafsiran imej mamogram dari sudut perubatan, melakarkan dasar sebenar (*ground truth*) bagi kawasan densiti serta kawasan ketidaknormalan bagi tujuan penilaian kecekapan dan memberikan pendapat beliau selaku pakar radiologi.

Begitu juga dipanjatkan syukur di atas kesabaran, kerjasama dan inspirasi yang sentiasa diberikan oleh suami tercinta, Habib Shah Firdaus yang begitu memahami cabaran dan rintangan sepanjang menjalankan penyelidikan ini. Dan kepada anak-anak pembakar semangat, terima kasih dari ummi kepada Sharifah Nafisah dan Habib Yusof Hamdani. Tidak dilupakan kepada ibu-bapa, adik-adik dan rakan-rakan yang turut mendoakan, sesungguhnya semangat dari kalian merupakan pendorong kejayaan menamatkan pengajian pada peringkat doktor falsafah ini.

KANDUNGAN

	Mukasurat
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iii
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI JADUAL	xviii
TERJEMAHAN ISTILAH	xix
SINGKATAN ISTILAH	xxi
ABSTRAK	xxii
ABSTRACT	xxiv
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Densiti Payudara pada Mamogram	3
1.3 Pernyataan Masalah	5
1.4 Objektif	8
1.5 Skop Penyelidikan	9
1.6 Garis Panduan Tesis	10
BAB 2 KAJIAN ILMIAH	
2.1 Pendahuluan	13
2.2 Statistik Kanser Payudara	14
2.3 Perkaitan Densiti Payudara dan Kanser Payudara	15
2.4 Mamogram	21
2.5 Pemprosesan dan Segmentasi Imej Mamogram	24
2.6 Segmentasi Densiti Payudara Imej Mamogram	29
2.7 Pengkelasan Densiti Payudara Imej Mamogram	33

2.8	Kelemahan dalam Penyelidikan Pengesanan Densiti Imej Mamogram	39
2.9	Segmentasi Potongan Graf	42
2.9.1	Definisi Asas Potongan Graf	45
2.9.2	Permasalahan Potongan Minimum dan Pengaliran Maksima	46
2.9.3	Algoritma Potongan Minimum dan Pengaliran Maksima	46
2.9.4	Segmentasi Tenaga	49
2.10	Pangkalan Data Imej Mamogram	52
2.11	Penilaian Kecekapan Segmentasi	53
2.12	Rumusan	58
 BAB 3 METODOLOGI		
3.1	Pendahuluan	61
3.2	Kerangka bagi Pengesanan Densiti Payudara	64
3.3	Pangkalan Data Imej Mamogram Mini-MIAS	72
3.4	Ringkasan	74
 BAB 4 REKABENTUK PENYELIDIKAN		
4.1	Pendahuluan	75
4.2	Pra-pemprosesan Imej Mamogram	77
4.2.1	Keratan Imej Profil Payudara Secara Automatik	81
4.2.2	Peningkatan Imej Mamogram	86
4.2.3	Pengekstrakan Otot Pektoral	92
4.3	Segmentasi Imej Mamogram Menggunakan Potongan Graf Terubahsuai	96
4.3.1	Kaedah Melabel dalam Teknik Potongan Graf Terubahsuai	102
4.4	Penilaian Kecekapan Segmentasi Densiti pada Imej Mamogram	110

4.4.1	Dasar Sebenar bagi Densiti Payudara dalam Penyelidikan	114
4.4.2	Kaedah Penilaian Kecekapan Segmentasi secara Kuantitatif	116
4.5	Pengkelasan Imej Mamogram Berdasarkan Peratusan Densiti	119
4.6	Ringkasan	124
BAB 5 KEPUTUSAN		
5.1	Pengenalan	126
5.2	Keputusan Pra-pemprosesan Imej Mamogram	126
5.3	Perbandingan Segmentasi Potongan Graf Terubahsuai Tanpa Pra-pemprosesan dan Segmentasi dengan Pra-Pemprosesan	127
5.4	Keputusan Segmentasi Densiti Payudara Imej Mamogram bagi Kes Normal Menggunakan Potongan Graf Terubahsuai	130
5.4.1	Keputusan Pra-pemprosesan bagi Keratan Imej Profil Payudara Automatik dan Penapisan Median	131
5.4.2	Keputusan Pra-pemprosesan bagi Pengekstrakan Otot Pektoral	132
5.4.3	Keputusan Potongan Graf Terubahsuai Sebelum Pengekstrakan Otot Pektoral	134
5.4.4	Keputusan Potongan Graf Terubahsuai Setelah Dilakukan Pengekstrakan Otot Pektoral	135
5.5	Keputusan Penilaian Dasar Sebenar secara Kualitatif berdasarkan Soal-selidik	137
5.6	Keputusan Penilaian Kecekapan Segmentasi Potongan Graf Terubahsuai menggunakan Metrik Ralat Min Kuasa Dua (MSE)	138
5.7	Keputusan Penilaian Kecekapan Segmentasi Potongan Graf Terubahsuai menggunakan Metrik Kesempurnaan, Ketepatan dan Kualiti	140

5.7.1	Penilaian Kecekapan Keputusan Segmentasi bagi Imej Jenis Lemak (BIRADS 1)	140
5.7.2	Penilaian Kecekapan Keputusan Segmentasi bagi Imej Jenis Glandular (BIRADS 2)	142
5.7.3	Penilaian Kecekapan Keputusan Segmentasi bagi Imej Jenis Pejal (BIRADS 3)	144
5.7.4	Penilaian Kecekapan Keputusan Segmentasi bagi Imej Jenis Pejal (BIRADS 4)	145
5.7.5	Keputusan Peratusan Densiti Payudara Hasil Segmentasi Berbanding Dasar Sebenar dan Penganggaran Kategori BIRADS	149
5.8	Keputusan Segmentasi Densiti Payudara Imej Mamogram bagi Kes Abnormal Menggunakan Potongan Graf Terubahsuai	153
5.9	Perbandingan secara Kualitatif Teknik Segmentasi Densiti Payudara menggunakan Potongan Graf Terubahsuai dengan Teknik-teknik Lain pada Penyelidikan Terdahulu	156
5.10	Perbandingan secara Kuantitatif Teknik Segmentasi Densiti Payudara secara Potongan Graf Terubahsuai dengan Teknik Lain pada Penyelidikan Terdahulu	158
5.11	Ringkasan	171
 BAB 6 KESIMPULAN DAN CADANGAN		
6.1	Kesimpulan	175
6.2	Cadangan	179
 RUJUKAN		
LAMPIRAN		
		181

LAMPIRAN A: Ilustrasi bagi (a) anatomi payudara serta kanser payudara Duktus Karsinoma (b) Tahap 0, (c) Tahap 1, (d) Tahap 2, (e) Tahap 3 dan (f) Tahap 4 (The Pink Ribbon Butterfly, 2012).	193
LAMPIRAN B: Contoh-contoh dasar sebenar oleh ahli radiologi mengikut kategori BIRADS.	194
LAMPIRAN C: Soal-selidik bagi penilaian dasar sebenar penyelidikan.	195
LAMPIRAN D.1 : Keputusan penilaian dasar sebenar oleh pakar radiologi 1.	196
LAMPIRAN D.2 : Keputusan penilaian dasar sebenar oleh pakar radiologi 2.	197
LAMPIRAN D.3 : Pengesahan penilaian oleh pakar-pakar radiologi.	198
LAMPIRAN D.4 : Keputusan penilaian dasar sebenar berdasarkan soal-Selidik.	199
LAMPIRAN E: Keputusan penilaian kecekapan segmentasi potongan graf terubahsuai bagi 40 imej mammogram menggunakan dasar sebenar daripada ahli radiologi.	200
LAMPIRAN F: Keputusan peratusan densiti payudara hasil segmentasi berbanding dasar sebenar daripada ahli radiologi.	201
LAMPIRAN G: Keputusan korelasi Pearson bagi peratusan densiti payudara menggunakan segmentasi potongan graf terubahsuai berbanding dasar sebenar densiti payudara oleh ahli radiologi.	202
LAMPIRAN H: Keputusan analisis regresi bagi peratusan densiti payudara menggunakan segmentasi potongan graf terubahsuai berbanding dasar sebenar kategori BIRADS densiti payudara oleh ahli radiologi.	203
SENARAI PENERBITAN	204

SENARAI RAJAH

Mukasurat

Rajah 2.1:	Protokol semasa penyaringan kanser payudara	17
Rajah 2.2:	Pemampatan payudara di antara dua plat semasa pengimejan mamografi (Siemens Healthcare, 2013).	22
Rajah 2.3:	Imej mamogram pada (a) pandangan CC dan (b) pandangan MLO (Imaginis Corporation, 2013).	22
Rajah 2.4:	Pembahagian anatomi kawasan payudara dan juga kawasan bukan payudara pada imej mamogram.	23
Rajah 2.5:	Illustrasi kawasan-kawasan payudara apabila payudara dimampatkan.	24
Rajah 2.6:	Aliran kerja pengkelasan (Solomon & Breckon, 2011).	35
Rajah 2.7:	Pembinaan graf oleh Greig <i>et al.</i> (1989), di mana (a) suatu graf, G dan (b) suatu potongan pada G . Kos pinggir digambarkan oleh ketebalan garisan.	45
Rajah 2.8:	Contoh segmentasi ringkas menggunakan potongan graf, di mana (a) imej dengan titik benih O , bagi objek dan titik benih B , bagi latar belakang, (b) graf, (c) potongan graf dan (d) keputusan segmentasi (Boykov & Jolly, 2001; Boykov & Funka-Lea, 2006)	48
Rajah 2.9:	Contoh lengkok ROC.	54
Rajah 2.10:	Contoh lengkok FROC	55
Rajah 3.1:	Gambarajah blok bagi fasa-fasa penyelidikan	63
Rajah 3.2:	Blok diagram segmentasi densiti imej mamogram.	68
Rajah 3.3:	Blok diagram pengkelasan densiti imej mamogram.	68
Rajah 3.4:	Blok diagram pengesanan densiti imej mamogram dalam penyelidikan.	68

Rajah 3.5:	Diagram kerangka yang terlibat dalam penyelidikan pengesanan densiti.	71
Rajah 4.1:	Segmentasi potongan graf terubahsuai tanpa pra-pemprosesan.	78
Rajah 4.2:	Imej mamogram serta histogram bagi mamogram jenis lemak (BIRADS 1), lemak-glandular (BIRADS 2) dan pejal (BIRADS 3 dan BIRADS 4)	80
Rajah 4.3:	(a) Imej mamogram mdb004 asal, (b) imej perduaan bagi kawasan payudara, (c) keratan imej mamogram sebelum dikeluarkan label, (d) keratan imej mamogram tanpa label serta (e) histogram bagi imej asal dan (f) histogram bagi imej setelah keratan imej dilakukan.	85
Rajah 4.4:	(a) Imej mamogram bagi mdb104, (b) histogram bagi imej, (c) keputusan pra-pemprosesan menggunakan teknik penyeragaman histogram serta (d) histogram imej setelah dilakukan penyeragaman histogram.	87
Rajah 4.5:	(a) Imej mamogram bagi mdb104, (b) histogram bagi imej, (c) keputusan pra-pemprosesan menggunakan regangan kontras serta (d) histogram imej setelah dilakukan regangan kontras.	88
Rajah 4.6:	(a) Imej mamogram bagi mdb104, (b) histogram bagi imej, (c) keputusan pra-pemprosesan menggunakan penapisan median serta (d) histogram imej setelah dilakukan penapisan median.	90
Rajah 4.7:	Imej mamogram bagi (a) mdb185 yang mengandungi artifak berupa calar pada imej dan (b) artifak telah dikeluarkan menggunakan penapis Median	91
Rajah 4.8:	Koordinat P (1,1) pada imej, $f(x,y)$	94
Rajah 4.9:	(a) Imej mamogram asal sebelah kanan, mdb110 (b) imej	94

	mamogram asal sebelah kiri, mdb111 dan (c) imej mamogram sebelah kiri yang telah diterbalikkan	
Rajah 4.10:	Arah kawasan yang bersambungan dengan koordinat P dalam kejiranan 8 x 8.	94
Rajah 4.11:	Imej mamogram yang (a) tidak terdapat kawasan otot pektoral, imej mamogram yang mempunyai kawasan otot pektoral (b) dengan saiz yang sangat kecil dan (c) dengan saiz yang lebih besar.	95
Rajah 4.12	Pengekstrakan otot pektoral bagi (a) imej mdb111 menggunakan kaedah pertumbuhan kawasan dan pengekstrakan otot pektoral bagi (b) imej mdb171 menggunakan kaedah geometrikal.	95
Rajah 4.13:	Segmentasi untuk (a) imej mdb111 menggunakan (b) potongan graf <i>standard</i> dan (c) potongan graf terubahsuai.	98
Rajah 4.14:	Analisa kualitatif terhadap nilai λ dan μ yang berbeza-beza dalam skala kelabu dan skala warna, (a) hingga (p) bagi teknik potongan graf terubahsuai.	100
Rajah 4.15:	Label-label diberikan secara rawak pada imej mdb111 (a), (b) dan (c). Keputusan diberikan dalam skala warna (d), (e) dan (f), serta dalam skala kelabu (g), (h) dan (i).	103
Rajah 4.16:	Ilustrasi bagi teknik melabelkan dalam segmentasi potongan graf terubahsuai bagi imej mamogram normal.	106
Rajah 4.17:	Ilustrasi bagi teknik melabelkan dalam segmentasi potongan graf terubahsuai bagi imej mamogram abnormal.	106
Rajah 4.18:	Imej mamogram normal mdb025 disegmen menggunakan (a) 3 label, (b) 4 label dan (c) 5 label.	109
Rajah 4.19:	Imej mamogram abnormal mdb111 disegmen menggunakan	109

	(a) 3 label, (b) 4 label, (c) 5 label dan (d) 6 label	
Rajah 4.20:	Dasar sebenar (a) kawasan abnormal daripada pangkalan data mini-MIAS, (b) kawasan abnormal oleh ahli radiologi dan (c) kawasan densiti oleh ahli radiologi bagi imej mdb001.	112
Rajah 4.21:	Contoh-contoh dasar sebenar daripada ahli radiologi yang berbeza bagi kawasan densiti payudara imej mdb111 (Georgsson, 2006).	113
Rajah 4.22:	Lakaran dasar sebenar oleh ahli radiologi bagi taburan tisu glandular pada payudara mengikut kategori BIRADS: (a) BIRADS 1, (b) BIRADS 2, (c) BIRADS 3 dan (d) BIRADS 4.	116
Rajah 4.23:	Dasar sebenar bagi kawasan densiti payudara oleh ahli radiologi bagi imej mamogram (a) BIRADS 1, (b) BIRADS 2, (c) BIRADS 3 dan (d) BIRADS 4.	116
Rajah 4.24:	Illustrasi kaedah penilaian kecekapan keputusan segmentasi.	118
Rajah 4.25:	Imej mamogram mengikut kategori-kategori BIRADS: (a) BIRADS 1, (b) BIRADS 2, (c) BIRADS 3 dan (d) BIRADS 4.	120
Rajah 4.26:	Imej mamogram pada (a) pandangan CC dan pandangan MLO.	121
Rajah 5.1:	(a) Imej mamogram mdb111 asal, (b) imej perduaan dan (c) imej mamogram setelah dikeluarkan label melalui proses keratan imej profil payudara dan penapisan median.	127
Rajah 5.2:	Segmentasi menggunakan teknik potongan graf sebelum dilakukan pra-pemprosesan, bagi (a) imej mdb111 menggunakan 6 label, keputusan segmentasi dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.	128
Rajah 5.3:	Segmentasi menggunakan teknik potongan graf setelah dilakukan pra-pemprosesan keratan imej profil payudara dan	129

- penapisan median bagi (a) imej mdb111 menggunakan 6 label, keputusan segmentasi dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.4: Segmentasi menggunakan teknik potongan graf setelah dilakukan pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral bagi (a) imej mdb111 menggunakan 6 label, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 130
- Rajah 5.5: Imej mamogram mdb004 setelah melalui proses keratan imej profil payudara dan penapisan median. 132
- Rajah 5.6: (a) Keratan imej mdb004 dan (b) imej bagi kawasan payudara setelah dilakukan pengekstrakan otot pektoral menggunakan kaedah pertumbuhan kawasan. 133
- Rajah 5.7: (a) Keratan imej mdb171 dan (b) imej bagi kawasan payudara setelah dilakukan pengekstrakan otot pektoral menggunakan (c) kaedah geometrikal. 133
- Rajah 5.8: Segmentasi menggunakan teknik potongan graf terubahsuai bagi (a) imej mdb004 menggunakan 5 label, keputusan segmentasi dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 134
- Rajah 5.9: Segmentasi menggunakan teknik potongan graf terubahsuai bagi (a) imej mdb171 menggunakan 5 label, keputusan segmentasi dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 135
- Rajah 5.10: Segmentasi potongan graf terubahsuai setelah dilakukan pengekstrakan otot pektoral menggunakan kaedah pertumbuhan kawasan bagi (a) imej mdb004 menggunakan 5 label, keputusan segmentasi dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 136

- Rajah 5.11: Segmentasi potongan graf terubahsuai setelah dilakukan 136
pengekstrakan otot pektoral menggunakan kaedah geometrikal
bagi (a) imej mdb171 menggunakan 5 label, keputusan
segmentasi dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu
- Rajah 5.12: (a) Segmentasi potongan graf terubahsuai bagi imej mdb003 138
dan (b) kawasan densiti segmentasi yang telah diekstrak serta
(c) dasar sebenar kawasan densiti dan (d) kawasan densiti
dasar sebenar yang telah diekstrak.
- Rajah 5.13: (a) Imej mdb079 jenis lemak beserta dasar sebenar oleh ahli 141
radiologi, keputusan segmentasi menggunakan teknik
potongan graf terubahsuai sebelum dilakukan pengekstrakan
otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.14: (a) Imej mdb079 jenis glandular beserta dasar sebenar oleh 142
ahli radiologi, keputusan segmentasi potongan graf
terubahsuai selepas pengekstrakan otot pektoral, dalam (b)
skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.15: (a) Imej mdb024 jenis glandular beserta dasar sebenar oleh 143
ahli radiologi, keputusan segmentasi potongan graf
terubahsuai, sebelum pengekstrakan otot pektoral dalam (b)
skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.16: (a) Imej mdb024 jenis glandular beserta dasar sebenar oleh 143
ahli radiologi, keputusan segmentasi potongan graf
terubahsuai, selepas pengekstrakan otot pektoral dalam (b)
skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.17: (a) Imej mdb106 jenis pejal beserta dasar sebenar oleh ahli 145
radiologi, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai,
sebelum pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral

- dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.18: (a) Imej mdb106 jenis pejal, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai, selepas pengekstrakan otot pektoral dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 145
- Rajah 5.19: (a) Imej mdb172 jenis pejal beserta dasar sebenar oleh ahli radiologi, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai, sebelum pengekstrakan otot pektoral dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 146
- Rajah 5.20: (a) Imej mdb172 jenis pejal, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai selepas pengekstrakan otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 147
- Rajah 5.21: Keputusan penilaian kecekapan segmentasi potongan graf terubahsuai menggunakan metrik kesempurnaan, ketepatan dan kualiti ke atas imej mamogram normal bagi jenis payudara yang berbeza serta secara keseluruhan 148
- Rajah 5.22: (a) Kawasan payudara (tanpa otot pektoral), (b) kawasan payudara yang diekstrak, (c) keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai (d) kawasan densiti payudara daripada segmentasi yang diekstrak, (e) dasar sebenar kawasan payudara (tanpa otot pektoral), (f) kawasan payudara daripada dasar sebenar yang diekstrak, (g) dasar sebenar kawasan densiti dan (h) kawasan densiti daripada dasar sebenar diekstrak. 149
- Rajah 5.23: Peratusan densiti payudara menggunakan dasar sebenar oleh ahli radiologi berbanding segmentasi densiti payudara menggunakan potongan graf terubahsuai bagi setiap kategori BIRADS. 150

- Rajah 5.24: (a) Imej mdb111 jenis pejal beserta dasar sebenar oleh ahli radiologi, (b) imej mdb111 disegmen menggunakan 6 label, keputusan segmentasi potongan graf sebelum pengekstrakan otot pektoral, dalam (c) skala warna dan (d) skala kelabu ditindih (*superimpose*) dasar sebenar. 154
- Rajah 5.25: (a) Imej mdb111 jenis pejal, (b) imej mdb111 disegmen menggunakan 6 label, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai, selepas pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral dalam (c) skala warna dan (d) skala kelabu. 155
- Rajah 5.26: (a) Imej mdb028 jenis lemak beserta dasar sebenar oleh ahli radiologi, (b) imej mdb028 disegmen menggunakan 5 label, keputusan segmentasi potongan graf sebelum dilakukan pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu ditindih (*superimpose*) dasar sebenar. 155
- Rajah 5.27: (a) Imej mdb028 jenis lemak, (b) imej mdb028 disegmen menggunakan 5 label, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai selepas pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu. 156
- Rajah 5.28: Segmentasi bagi membahagikan imej mamogram BIRADS 1 (baris atas) hingga BIRADS 4 (baris bawah), kepada kawasan-kawasan bagi (a) imej asal mdb005, mdb041, mdb194, mdb171. Keputusan segmentasi bagi (b) satu kawasan payudara, (c) berdasarkan jarak piksel kepada pinggir kulit-udara, (d) berdasarkan Purata-C Fuzi, (e) berdasarkan analisa *fractal*, (e) berdasarkan analisa statistik serta berdasarkan potongan graf terubahsuai dalam (f) skala kelabu dan (g) skala 158

warna.

- Rajah 5.29: Keputusan segmentasi bagi (a) imej asal mdb003 (b) beserta 161
segmentasi oleh ahli radiologi sebagai dasar sebenar, (c)
keputusan segmentasi penyelidikan Adel *et al.* (2007) dan (d)
perbandingan keputusan segmentasi dengan dasar sebenar
oleh ahli radiologi ($\rho=0.58$).
- Rajah 5.30: (a) Imej mdb003 jenis pejal beserta dasar sebenar oleh ahli 162
radiologi, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai
sebelum dilakukan pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot
pektoral, dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.31: (a) Imej mdb003 jenis pejal beserta dasar sebenar oleh ahli 162
radiologi, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai
selepas pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral,
dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.32: Keputusan segmentasi bagi (a) imej asal mdb009 (b) beserta 163
segmentasi oleh ahli radiologi sebagai dasar sebenar, (c)
keputusan segmentasi penyelidikan Adel *et al.* (2007) dan (d)
perbandingan keputusan segmentasi dengan dasar sebenar
oleh ahli radiologi ($\rho=0.185$).
- Rajah 5.33: (a) Imej mdb009 jenis lemak beserta dasar sebenar oleh ahli 164
radiologi, keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai
sebelum pra-pemprosesan serta pengekstrakan otot pektoral,
dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.34: (a) Imej mdb009 jenis lemak, keputusan segmentasi potongan 164
graf terubahsuai selepas pra-pemprosesan serta
pengekstrakan otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c)
skala kelabu.

- Rajah 5.35: Keputusan segmentasi bagi (a) imej asal mdb041 (b) beserta 165
segmentasi oleh ahli radiologi sebagai dasar sebenar, (c)
keputusan segmentasi penyelidikan Adel *et al.* (2007) dan (d)
perbandingan keputusan segmentasi dengan dasar sebenar
oleh ahli radiologi ($\rho=0.77$).
- Rajah 5.36: (a) Imej mdb041 jenis glandular beserta dasar sebenar oleh 166
ahli radiologi, keputusan segmentasi potongan graf
terubahsuai sebelum pra-pemprosesan serta pengekstrakan
otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c) skala kelabu.
- Rajah 5.37: (a) Imej mdb041 jenis glandular, keputusan segmentasi 167
potongan graf terubahsuai selepas pra-pemprosesan serta
pengekstrakan otot pektoral, dalam (b) skala warna dan (c)
skala kelabu.

SENARAI JADUAL

Mukasurat

Jadual 3.1:	Perbezaan kerangka penyelidikan ini berbanding penyelidikan terdahulu.	70
Jadual 4.1:	Nilai MSE dan PSNR bagi teknik-teknik pemprosesan imej	91
Jadual 5.1:	Matriks kekeliruan bagi jenis payudara dan kategori BIRADS.	131
Jadual 5.2:	Keputusan Ralat Min Kuasa Dua (MSE) bagi 40 imej mamogram normal	139
Jadual 5.3:	Perbandingan keputusan penilaian kecekapan segmentasi dalam penyelidikan terdahulu oleh Adel <i>et al.</i> , (2007) berbanding keputusan segmentasi potongan graf terubahsuai dalam penyelidikan ini.	168

TERJEMAHAN ISTILAH

Bahasa Inggeris	Bahasa Melayu
Active contour	Kontur aktif
Architectural distortion	Herotan pada struktur normal
Asymmetry	Asimetri
Axilla	Aksila
Benign	Benigna
Binary	Perduaan
Bounding box	Kotak pembatas
Classifier	Pengelas
Completeness	Kesempurnaan
Correctness	Ketepatan
Computational time	Masa perkomputeran
Connective tissue	Tisu perantara
Correlation	Korelasi
Cranio-Caudal	Kranio-kaudal
Database	Pangkalan data
Density	Densiti, ketumpatan, kepadatan
Dilation	Pelebaran
Discrete probability distribution function	Fungsi taburan kebarangkalian diskrit
Discriminant	Diskriminan, pembezalayan
Downsampling	Pensampelan menurun
Duct	Duktus
Dysplasia	Displasia
Eccentricity	Kesipian
Erosion	Hakisan
Epithelial tissue	Tisu epitelial
Ground truth	Dasar sebenar

Heterogen	Heterogeneous
Homogen	Homogeneous
Hyperplasia	Hiperplasia
Image cropping	Keratan imej
Intensity	Keamatan
Isolated features	Ciri-ciri terpencil
Lexicon	Leksikon
Lobule	Lobul
Local	Tempatan
Mammography	Mamografi
Mass	Ketulan
Media-Lateral Oblique	Media-lateral oblik
Nipple	Puting
Projection	Unjuran
Quantification	Pengkuantitian
Quality	Kualiti
Sampling	Pensampelan
Segmentation	Segmentasi, pensegmenan, peruasan
Skewness	Kepencongan
Skin-air interface	Antaramuka kulit-udara
Spatial	Ruang
Speckle noise	Hingar bintik
Sub-block	Sub-blok
Threshold	Nilai ambang
Uncertainties	Ketidakpastian
Underlying mixture distribution	Taburan campuran dasar
Variance	Varians

SINGKATAN ISTILAH

BIRADS	-	Breast Imaging Report and Data System
CAD	-	Computer-Aided Detection
CC	-	Cranial Cordal
DCIS	-	Ductal Carsinoma In Situ
HMMRF	-	Hidden Markov Random Field
IDC	-	Invasive Ductal Carcinoma
ILC	-	Invasive Lobular Carcinoma
LCIS	-	Lobular Carsinoma In Situ
MIAS	-	Mammographic Image Analysis Society
MLO	-	Media Lateral Oblique
MRF	-	Markov Random Field
MRI	-	Magnetic Resonance Imaging
MSE	-	Mean Square Error
PSNR	-	Power Signal to Noise Ratio
ROI	-	Region of Interest
UK	-	United Kingdom

PENGESANAN DENSITI PAYUDARA UNTUK PENKELASAN BIRADS IMEJ MAMOGRAM

ABSTRAK

Kanser payudara adalah kanser wanita yang paling kerap dan menjadi penyebab utama kematian di kalangan wanita di seluruh dunia. Mamografi adalah alat pengimejan utama bagi penyaringan dan pengesanan awal penyakit tersebut. Petanda yang kuat untuk risiko kanser payudara ialah densiti payudara. Di Asia, pesakit kanser payudara berumur lebih muda berbanding pesakit kanser di negara-negara Barat. Pesakit muda mempunyai densiti payudara yang lebih tinggi dan ini dapat dilihat pada imej mamogram. Sensitiviti mamografi bagi pengesanan awal kanser payudara akan berkurang pada payudara yang berdensiti tinggi. Dengan ini, pentafsiran imej mamogram oleh ahli radiologi menjadi lebih sukar. Oleh itu, pengesanan densiti secara segmentasi adalah penting dalam membantu pentafsiran imej. Penyelidikan ini bertujuan mensegmen densiti payudara, mengesan ketulan yang terdapat dalam kawasan densiti payudara serta memvisualkan kawasan-kawasan anatomi payudara yang lain. Teknik segmentasi menggunakan potongan graf terubahsuai telah diaplikasikan. Penilaian kecekapan segmentasi secara kuantitatif menggunakan metriks ralat min kuasa dua, kesempurnaan, ketepatan dan kualiti telah dilakukan dalam penyelidikan ini. Ini melibatkan dasar sebenar daripada pakar radiologi sebagai perbandingan dalam penilaian kecekapan. Berbeza dengan penyelidikan terdahulu yang menggunakan dasar sebenar yang tidak terperinci, penyelidikan ini menekankan dasar sebenar yang lebih terperinci dalam penilaian kecekapan segmentasi. Ini dapat memberikan penilaian yang lebih berkualiti. Keputusan segmentasi adalah memberangsangkan berdasarkan penilaian kecekapan secara kualitatif dan kuantitatif. Keputusan segmentasi memberikan pembahagian kawasan yang lebih terperinci berbanding penyelidikan yang terdahulu, membolehkan pengesanan densiti payudara dan

kawasan anatomi payudara yang lain. Selain itu, penyelidikan ini turut mengetengahkan kebolehan untuk mengesan ketulan dalam kawasan densiti tersebut. Penganggaran kategori BIRADS (*Breast Imaging Report and Data System*) turut dilakukan berdasarkan peratusan densiti payudara yang diperolehi daripada proses segmentasi. Keputusan peratusan densiti payudara daripada segmentasi yang dilaksanakan menunjukkan korelasi yang tinggi ($r=0.951$) dengan peratusan densiti dasar sebenar. Analisa statistik telah dilaksanakan bagi menganggarkan kategori BIRADS densiti payudara berdasarkan peratusan densiti payudara tersebut. Penyelidikan dalam segmentasi densiti yang telah dibangunkan dapat berfungsi sebagai alat pemvisualan serta pemberi pendapat kedua bagi membantu ahli radiologi dalam pentafsiran mamogram, manakala pengelasan densiti payudara kepada kategori BIRADS menyumbang dalam penilaian risiko kanser payudara.

BREAST DENSITY DETECTION FOR BIRADS CLASSIFICATION ON MAMMOGRAM IMAGES

ABSTRACT

Breast cancer is the most common female cancer and is the leading cause of deaths amongst females worldwide. Mammography is the primary imaging tool for screening and early detection of the disease. Breast density has been found to be a strong indicator for breast cancer risk. In Asia, breast cancer patients are found to be at a younger age as compared to those in the Western countries. Younger females have denser breasts and this is reflected in the mammogram images. The sensitivity for early detection of breast cancer using mammography is reduced in dense breast. This causes difficulty in the interpretation of mammogram images by radiologist. Therefore, detection of breast density is important to assist in the interpretation. This research attempts to segment the dense areas of the breast, detect the existence of mass in that area and to visualize other breast anatomical regions. The modified graph cuts segmentation technique has been applied. The quantitative performance evaluation of segmentation results using mean square error, completeness, correctness and quality metrics have been carried out in this research. This involved ground truth from a radiologist for comparison in the performance evaluation. This work emphasized on using precise ground truth in performance evaluation of segmentation technique, whereas previous related researches have used rough ground truth. The segmentation results are promising based on qualitative and quantitative analysis. The segmentation results provide more precise demarcation compared with previous related researches, enabling visualization of breast density and other breast anatomical regions. Moreover, this research also highlighted its ability to detect mass in the density area. Estimation of BIRADS (Breast Imaging Report and Data System) category has been conducted based based on the percentage of breast density derived from the segmentation

process. The results showed that the percentages of the segmented area highly correlated ($r=0.951$) with the ground truth. Statistical analysis has been performed to estimate BIRADS breast density category based on the breast density percentages. This work on segmentation successfully produced a visualization tool that acts as a second opinion and assist radiologists in the interpretation of mammogram images, while the classification of breast density into BIRADS category contributed to breast cancer risk assessment.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Kanser payudara adalah kanser yang paling kerap menyerang wanita di serata dunia. Di Amerika Syarikat (*United States*, US), kanser payudara adalah kanser yang paling kerap terjadi di kalangan wanita dan juga merupakan penyebab kematian yang kedua selepas kanser paru-paru. Menurut *National Cancer Institute*, satu dalam lapan wanita akan menghidap kanser payudara semasa jangka hayat mereka. Tahap kanser terendah dilaporkan di negara-negara Asia. Walaupun kadar insiden kanser payudara adalah rendah di Asia, tetapi kadar kematian adalah lebih tinggi di negara-negara Asia yang sedang membangun berbanding dengan negara-negara Asia yang telah membangun dan juga negara-negara lain di seluruh dunia. Bahkan, ia adalah punca utama kematian akibat kanser di Asia dan merupakan kanser wanita yang paling kerap di negara-negara Asia yang membangun (Agarwal *et al.*, 2007).

Di negara-negara sedang membangun, kebanyakan pesakit-pesakit kanser payudara mendapatkan diagnosis pada peringkat yang agak lewat, iaitu kanser sudah pun mula merebak (Hisham & Yip, 2004). Sebaliknya, di negara-negara maju, yang mana mempunyai keadaan sosioekonomi yang lebih baik, keadaan adalah jauh berbeza. Kesedaran kesihatan dan kesediaan melakukan penyaringan kanser payudara menjadi sebab-sebab utama kadar kematian akibat kanser payudara lebih rendah di negara-negara ini. Menurut *National Cancer Institute*, dianggarkan 2.6 juta pesakit wanita di Amerika Syarikat yang masih mampu untuk terus hidup pada Januari 2008 (Howlader *et al.*, 2011), lebih separuh daripada jumlah tersebut telah didiagnos pada peringkat awal, iaitu kurang daripada 10 tahun. Kebanyakan daripada mereka telah didapati bebas daripada kanser dan hanya sebilangan kecil daripada mereka yang masih menghidapi kanser dan terus menjalani rawatan.

Di Malaysia, dianggarkan satu dalam dua puluh orang wanita menghidap kanser payudara semasa jangkahayat mereka (Yip *et al.*, 2006). Meskipun kadar insiden kanser payudara ini lebih rendah, namun kanser payudara tetap merupakan penyebab utama kematian akibat kanser di Malaysia. Pengesanan awal kanser payudara adalah langkah yang paling penting. Pengesanan awal kanser payudara dapat meningkatkan kadar kemandirian (*survival rate*), membolehkan rawatan awal diberikan dan meningkatkan pilihan rawatan, sekaligus mengurangkan kadar kematian akibat kanser payudara.

Mamografi atau sinar-x (*x-ray*) payudara memainkan peranan paling penting sebagai alat diagnostik dalam pengesanan kanser payudara (Zhou *et al.*, 2001). Penyaringan pengimejan mamogram digunakan bagi pengesanan awal kanser payudara ke atas wanita yang belum mempunyai simptom (El-Zaart, 2010). Ini bermaksud mamogram berupaya mengesan kanser pada tahap awal, walaupun tidak terdapat ketulan (*mass*) yang dapat dirasa oleh pesakit mahupun doktor (Chatzistergos, 2008; El-Zaart, 2010). Ahli radiologi biasanya melihat kepada kebarangkalian ciri-ciri keabnormalan melalui imej mamogram. Di antara tanda-tanda kanser payudara yang sering diperhatikan ialah wujudnya ketulan, tompokan kalsifikasi (*calcification*), herotan pada struktur normal (*architectural distortion*), asimetri (*asymmetry*) dan densiti payudara (Tabar & Dean, 1985). Kanser payudara biasanya terjadi pada kawasan tisu fibroglandular payudara atau kawasan densiti payudara. Tisu fibroglandular menyusutkan sinar-x lebih tinggi berbanding tisu lemak. Ini menjadikan ia kelihatan cerah pada imej mamogram. Kemunculan kawasan cerah pada tisu fibroglandular ini disebut sebagai densiti payudara atau turut dikenali sebagai densiti mamogram atau densiti mamografi.

Kanser payudara merupakan penyebab utama kematian wanita pada usia 40-an di Amerika Syarikat (Buseman *et al.*, 2003). Sebahagian besar pesakit kanser payudara di negara-negara Asia yang sedang membangun, lebih muda daripada pesakit di negara-negara Asia membangun dan juga negara Barat (GLOBOCAN

2008, 2012; Hisham & Yip, 2004). Di Malaysia, kanser payudara kerap menyerang wanita berumur di antara 35 hingga 60 tahun dan hampir 40% dikesan pada usia 50 tahun ke bawah. Pesakit muda kebiasaannya mempunyai payudara yang lebih pejal atau mempunyai densiti yang tinggi (Subashini *et al.*, 2010). Apabila payudara mempunyai densiti yang tinggi, sensitiviti mamografi bagi pengesanan awal kanser payudara akan berkurang (Yaghjian *et al.*, 2011). Hal ini disebabkan terdapatnya tanda-tanda kanser tertanam di dalam tisu-tisu normal berdensiti tinggi, serta mempunyai ciri-ciri kadar penyusutan sinar-x yang seakan sama seperti tisu-tisu normal berdensiti tinggi tersebut. Oleh itu, adalah paling tepat untuk memfokuskan penyelidikan pada pengesanan kawasan densiti payudara yang terdapat dalam imej mamogram. Ini memandangkan ramainya pesakit berusia lebih muda di kalangan wanita di Asia, melibatkan banyak kes payudara berdensiti tinggi serta sukar untuk dilakukan pengesanan dan diagnosis pada imej mamogram.

1.2 Densiti Payudara pada Mamogram

Mamografi merupakan alat yang amat mustahak bagi pengesanan awal kanser payudara. Setelah mengambil gambar mamografi, imej akan ditafsir oleh ahli radiologi yang mahir dengan imej mamografi dan pendiagnosan. Dalam mentafsir imej mamografi, ahli radiologi berhadapan dengan penemuan imej yang pelbagai, di mana mereka perlu membuat keputusan yang wajar. Setiap pentafsiran direkod dalam salah satu sistem kategori sebagaimana yang digariskan oleh *American College of Radiology* (2004). Sistem ini dikenali sebagai Sistem Data dan Laporan Pengimejan Payudara (*Breast Imaging Report and Data System*) atau dirujuk sebagai BIRADS (*American College of Radiology*, 2004). BIRADS mengandungi garis panduan untuk membuat laporan mamografi secara *standard*, merangkumi leksikon pengimejan payudara (*breast imaging lexicon*), terminologi dan penilaian struktur sepertimana yang telah dikodkan dalam sistem BIRADS. Bagi setiap penemuan dalam imej mamografi, ahli radiologi akan menggunakan istilah leksikon

standard yang telah ditentukan dalam BIRADS dan membuat penerangan yang bersesuaian seperti ketulan (*mass*), kalsifikasi (*calcification*) dan densiti (*density*). Setelah menganalisa penemuan pada imej, ahli radiologi akan membuat keputusan dan memberikan kategori BIRADS bagi densiti payudara kepada imej.

Densiti payudara didapati adalah faktor risiko utama kepada kanser payudara (Boyd *et al.*, 2007). Perkaitan di antara tahap densiti mamogram dan risiko pembentukan kanser payudara telah dikaji. Perkaitan ini dibentangkan buat pertama kalinya oleh Wolfe pada tahun 1976 (Wolfe, 1976a) dan disahkan oleh beberapa penyelidik yang lain seperti Boyd *et al.* (1995), Karssemeijer (1998) dan Van Gils *et al.* (1999). Walaubagaimanapun sehingga kini, secara praktikalnya, pengukuran densiti payudara dilakukan secara kualitatif, iaitu berdasarkan penilaian visual daripada ahli radiologi. Ahli radiologi perlu menganggarkan peratusan densiti payudara serta memberikan kategori BIRADS tertentu. Ahli radiologi biasanya mengalami kesukaran dalam pentafsiran imej berdasarkan keamatan skala kelabu serta bagi menetapkan kategori BIRADS bagi densiti payudara. Ini sering mengundang percanggahan pendapat di kalangan ahli radiologi. Menurut Zhou *et al.* (2001), terdapat kepelbagaian yang besar dalam memberikan kategori BIRADS dalam kalangan ahli radiologi yang berpengalaman. Suatu kaedah penganggaran kuantitatif, semi-automatik atau automatik diharapkan dapat menyediakan bukan sahaja satu kaedah yang berkesan untuk mengukur densiti mamografi, tetapi juga suatu anggaran yang boleh dihasilkan semula serta dapat mengurangkan kepelbagaian di antara pemerhati (*inter-observer*) dan intra-pemerhati (*intra-observer*) dalam pengukuran densiti mamografi. Sistem analisis imej secara kuantitatif ini membolehkan para penyelidik mengkaji dengan lebih terperinci perkaitan densiti mamografi dengan risiko kanser payudara, membantu dalam pengesanan keabnormalan, menentukan prognosis dan sensitiviti mamografi. Justeru, akan terhasil suatu sistem pemantauan pesakit yang lebih baik, khusus dalam proses rawatan pencegahan kanser payudara.

1.3 Pernyataan Masalah

Ahli radiologi biasanya berdepan dengan kesukaran dalam mentafsirkan imej mamogram skala kelabu semasa penyaringan dan diagnosis kanser payudara. Di antara puncanya ialah kes kanser tidak lazim dikesan semasa pemeriksaan penyaringan. Tambahan pula, payudara setiap individu mempunyai pembahagian tisu lemak dan tisu glandular yang berbeza-beza. Ini memberikan tahap densiti payudara yang berbeza-beza. Selain itu, terdapat pelbagai kes keabnormalan pada payudara. Pertindihan tisu fibro-glandular pada imej mamogram pula sukar untuk dibezakan dengan keabnormalan tersebut. Sensitiviti mamografi adalah rendah, terutamanya jika dilakukan ke atas wanita muda atau wanita yang mempunyai densiti payudara yang tinggi. Disebabkan kesukaran membuat keputusan dalam pentafsiran imej mamogram, terdapat kes-kes tertentu di mana wanita tersebut akan dipanggil semula bagi menjalankan pemeriksaan susulan menggunakan peralatan pengimejan yang lain ataupun melakukan biopsi. Pengimejan resonans magnetik (*Magnetic Resonance Imaging, MRI*) merupakan teknik penyaringan lanjutan bagi wanita yang mempunyai risiko yang tinggi terdapat keabnormalan payudara. Di samping itu, ultrasound juga digunakan sebagai peralatan pengimejan sampingan terutamanya ke atas wanita yang masih muda. Walaubagaimanapun, ultrasound tidak sesuai digunakan untuk semua peringkat umur. Tambahan pula kualiti imej ultrasound dipengaruhi hingar (Supriyanto *et al.*, 2011).

Walaupun mamogram mempunyai limitasi tertentu, namun ia tetap merupakan teknik pengimejan yang utama bagi pengesanan awal kanser payudara disebabkan kebolehannya mengesan kanser yang masih belum menunjukkan apa-apa simptom. Oleh itu, pelbagai sistem pengesanan atau diagnosis berbantuan komputer (*Computer-Aided Diagnosis, CAD*) ke atas imej mamogram telah dibangunkan bagi membantu ahli radiologi (Nishikawa, 2007). Sistem sebegini dapat berfungsi sebagai pemberi pendapat kedua dan dapat membantu mengurangkan bebanan kerja ahli radiologi.

Menurut Birdwell *et al.* (2001), adakalanya ahli radiologi terlepas pandang akan bahagian yang tidak normal pada mamogram. Selain itu, terdapat banyak kes-kes ketidaknormalan yang sebenarnya cuma kes benigna (*benign*) selepas dilakukan biopsi (Hall *et al.*, 1988). Kajian retrospektif menunjukkan bahawa ahli radiologi tidak dapat mengesan kesemua kanser payudara yang terlihat pada mamogram (Yang *et al.*, 2005). Meskipun pembacaan secara dua kali telah dicadangkan, supaya dapat memberikan pendekatan yang lebih berkesan bagi meningkatkan sensitiviti, namun ia tidak ekonomik disebabkan dua kali ganda bacaan diperlukan daripada ahli radiologi. Salah satu syarat utama dalam menentukan kejayaan program penyaringan adalah kos yang efektif. Dengan itu, wujudnya sistem pengesanan densiti berbantuan komputer dapat dijadikan sebagai pendapat kedua atau keputusan sokongan bagi penilaian yang akan dibuat oleh ahli radiologi dalam pentafsiran imej mamografi tersebut.

Menurut kajian yang dilakukan oleh Martin *et al.* (2006), terapi hormon merangkumi rawatan tamoxifen dan estrogen berupaya memberi perubahan kepada densiti payudara (Heine & Malhotra, 2002; Stomper *et al.*, 1990; Laya *et al.*, 1995; Son & Oh, 1999) serta turut memberi risiko kepada kanser payudara (Colditz *et al.*, 1995; Ross *et al.*, 2000; Fisher *et al.*, 1998; Rossouw *et al.*, 2002). Oleh itu, pengukuran secara kuantitatif bagi densiti payudara adalah penting bagi mendapatkan rawatan pencegahan dan juga bagi memantau perubahan densiti yang berkait dengan risiko kanser payudara.

Para penyelidik telah membangunkan teknik-teknik pemprosesan imej bagi mengesan kanser payudara pada peringkat awal. Kebanyakan teknik-teknik ini menjalankan analisa terhadap keseluruhan imej mamogram, tanpa mempertimbangkan bahawa imej mamogram mempunyai corak densiti dan kawasan-kawasan anatomi yang berbeza-beza (Ferrari *et al.*, 2004). Sedangkan faktor ini diambilkira oleh ahli radiologi dalam pentafsiran diagnostik. Meskipun terdapat banyak teknik-teknik segmentasi pada kajian ilmiah yang terdahulu, namun

kebanyakannya tidak memfokus kepada segmentasi densiti dan kawasan anatomi payudara. Sebaliknya, tumpuan diberikan kepada permasalahan tertentu seperti pengesanan atau pembetulan pinggir tisu payudara, perletakan posisi puting payudara pada mamogram (Bick *et al.*, 1995; Byng *et al.*, 1996), pengkuantitian densiti payudara (Saha *et al.*, 2001) dan penilaian terhadap perkaitannya dengan kanser payudara (Wolfe, 1976a; Karssemeijer, 1998; Byng *et al.*, 1996). Hanya terdapat sebilangan kecil penyelidik yang telah membangunkan kaedah untuk mensegmen dan memodelkan mamogram dari sudut kawasan densiti dan anatomi payudara (Ferrari *et al.*, 2004). Kaedah ini penting dalam membuat perbandingan struktur anatomi bagi mengetahui sama ada terdapatnya herotan pada struktur normal (*architectural distortion*) payudara atau asimetri (tidak simetri) antara mamogram sebelah kanan dan kiri (Miller & Astley, 1992).

Disebabkan fakta peningkatan densiti payudara memberikan risiko kepada kanser payudara (Wolfe, 1976b), maka pengukuran secara kuantitatif densiti payudara ini mula mendapat perhatian di kalangan para penyelidik. Penyelidikan berkenaan densiti payudara ini dapat dibahagikan kepada dua kategori utama iaitu penyelidikan yang berdasarkan segmentasi kawasan densiti (Zhou *et al.*, 2001), atau pengkelasan densiti (Oliver *et al.*, 2008). Terdapat juga sebilangan kecil penyelidikan yang berdasarkan isipadu densiti payudara (Van Engeland *et al.*, 2006). Manakala kaedah yang digunakan dapat dikategorikan kepada tiga iaitu berasaskan penentuan nilai ambang (Zhou *et al.*, 2001), pembelajaran tidak terselia (*unsupervised learning*) atau pembelajaran terselia (*supervised learning*) (Saha *et al.*, 2001; Zwiggelaar *et al.*, 2003) dan kaedah berasaskan model fizik (Van Engeland *et al.*, 2006).

Walaupun bagaimanapun, imej mamografi adalah kompleks dan sukar dianalisa. Ini disebabkan imej mamogram mengandungi tahap densiti yang berbeza-beza, dipengaruhi pelbagai pembahagian lemak dan tisu glandular dalam payudara. Faktor lain yang turut menyumbang kepada kesukaran pentafsiran merangkumi

kualiti peralatan, hingar, ketidakseragaman dan penjanaan tiga dimensi kepada dua dimensi (Lao & Huo, 2009). Berbagai permasalahan timbul dalam segmentasi yang memfokuskan kepada kawasan densiti payudara. Di antaranya adalah segmentasi yang dilakukan dalam penyelidikan terdahulu biasanya tidak menghiraukan usaha bagi meminimumkan kehilangan kawasan payudara serta tidak cuba untuk mengekalkan profil puting payudara jika terdapat dalam imej mamogram. Kebolehan mengekalkan profil puting payudara ini boleh membantu dalam pengesanan herotan struktur (*architectural distortion*) yang merupakan salah satu daripada tanda-tanda kanser payudara (Karssemeijer, 1998). Penyelidikan yang dijalankan ini akan memberi perhatian untuk memperjelaskan kawasan densiti, meminimumkan kehilangan kawasan payudara, memperjelaskan profil puting jika terdapat dalam imej mamogram serta membahagikan payudara kepada kawasan-kawasan anatomi payudara dengan tujuan untuk memudahkan pemvisualan.

Berbeza dengan penilaian segmentasi imej biasa, penilaian imej perubatan seperti mamogram memerlukan pengesahan ketepatan oleh para doktor atau ahli radiologi. Terdapat permasalahan dalam penilaian kecekapan imej perubatan secara kuantitatif, di mana imej-imej yang digunakan oleh penyelidik menggunakan dasar sebenar (*ground truth*) yang berbeza-beza. Tidak terdapat suatu kaedah penilaian yang *standard* disebabkan kepelbagaian pentafsiran di kalangan ahli radiologi. Oleh itu, kebanyakan penyelidik biasanya melakukan penilaian kualitatif sahaja disebabkan kesukaran mendapatkan dasar sebenar (Olsen & Georgsson, 2006). Oleh itu, suatu pendekatan bagi mendapatkan dasar sebenar objektif adalah perlu sebagai rujukan dan penanda aras dalam penyelidikan pengesanan densiti.

1.4 Objektif

Objektif utama penyelidikan ini ialah untuk mengesan densiti pada imej mamogram. Penyelidikan ini dibangunkan berasaskan teknik pemprosesan dan segmentasi imej. Tujuan sistem ini dibangunkan adalah untuk mensegmen kawasan

densiti payudara dan kawasan-kawasan payudara yang lain, mengekstrak kawasan otot pektoral dan memodelkan pengkelasan imej mamogram kepada kategori BIRADS berdasarkan peratusan densiti payudara tersebut. Bagi menjayakan objektif utama, berikut adalah objektif-objektif sokongan yang digariskan dan perlu dijayakan:

- (1) Membina suatu kerangka yang melibatkan beberapa proses untuk pengesanan densiti payudara.
- (2) Mencari kaedah segmentasi yang paling sesuai bagi mensegmen densiti payudara dan kawasan-kawasan anatomi payudara yang lain. Mengkaji potensi teknik segmentasi bagi mengesan kawasan keabnormalan berupa ketulan yang terdapat pada kawasan densiti payudara.
- (3) Mengklasifikasi densiti payudara pada imej mamogram kepada kategori BIRADS berdasarkan peratusan densiti payudara.

1.5 Skop Penyelidikan

Bagi mencapai objektif yang telah digariskan, penyelidikan ini berperanan menjalankan segmentasi ke atas imej mamogram bagi mengesan kawasan densiti payudara serta kawasan-kawasan anatomi payudara yang lain. Tujuannya adalah bagi membantu ahli radiologi dalam pentafsiran imej dan diagnosis berdasarkan pemvisualan imej mamogram. Penyelidikan ini berfungsi membahagikan imej mamogram kepada tisu-tisu payudara yang berbeza seperti pinggir payudara, tisu lemak tidak mampat (*uncompressed fat*), tisu lemak mampat (*compressed fat*), tisu glandular (densiti payudara) dan tisu glandular berdensiti tinggi. Walaubagaimanapun, fokus utama penyelidikan ini adalah kawasan densiti payudara pada mamogram, di mana ia adalah kawasan berkebarangkalian dan berisiko tinggi terjadinya kanser. Ia terletak pada kawasan tisu glandular pada payudara. Terdapat tanda-tanda lain bagi kanser seperti ketulan, kalsifikasi, asimetri dan herotan pada pinggir. Lazimnya, kawasan densiti payudara inilah di mana tumor

terjadi dan merebak ke kawasan-kawasan payudara atau organ-organ yang lain. Justeru, penilaian segmentasi dan juga pengkelasan hanya akan tertumpu pada kawasan densiti payudara yang menjadi fokus utama dalam penyelidikan ini. Potensi dalam mengesan ketulan yang terdapat dalam kawasan payudara turut diketengahkan. Kes keabnormalan yang lain adalah di luar skop penyelidikan ini. Bagi tujuan pengkelasan dalam penyelidikan yang dijalankan ini, kelas yang akan dipertimbangkan ialah kategori BIRADS imej mamogram dan parameter terpenting yang diperlukan ialah peratusan densiti payudara

Penyelidikan ini melakukan penilaian secara kualitatif dan kuantitatif. Penilaian kuantitatif adalah melibatkan dasar sebenar daripada ahli radiologi yang berpengalaman lebih 20 tahun. Penyelidikan ini dilaksanakan pada imej mamogram media-lateral oblik (*Media-Lateral Oblique*, MLO). Sumber data bagi imej-imej mamogram ini adalah daripada pangkalan data mini-MIAS (Suckling *et al.*, 1994).

Teknik-teknik dalam penyelidikan ini dilakukan menggunakan perisian Matlab (R2011a) berbantuan perpustakaan C++ oleh Veksler (Boykov, *et al.*, 2001) serta pembalut Matlab (*Matlab wrapper*) bagi fungsi potongan graf (Bagon, 2006). Aplikasi algoritma potongan graf secara terus dalam Matlab adalah terbatas disebabkan pelaksanaannya yang perlahan dalam Matlab serta algoritmanya yang kompleks serta memerlukan ruang yang besar (Svoboda *et al.*, 2007). Perpustakaan ini membolehkan algoritma potongan graf dibangunkan serta diubahsuai.

1.6 Garis Panduan Tesis

Tesis ini terangkum dalam 6 bab dan dimulai dengan bab pengenalan. Sinopsis setiap bab diberikan dalam pendahuluan manakala rumusan diberikan pada penghujung setiap bab. Bab-bab adalah mengikut susunatur pelaksanaan penyelidikan.

Bab 1 iaitu bab pengenalan, lebih memberikan perhatian kepada definisi tajuk penyelidikan yang dipilih. Dengan itu, ide atau gambaran ringkas tentang

keperluan kepada penyelidikan ini akan dapat difahami dengan lebih jelas. Objektif dan skop penyelidikan turut dinyatakan dalam bab ini.

Bab 2 mengulas tentang kajian ilmiah berkenaan kanser payudara dan kepentingan mamografi dalam pengesanan awal kanser payudara. Fakta perkaitan densiti payudara dengan risiko kanser payudara turut diberikan. Imej mamogram dan kesukaran dalam pentafsiran imej tersebut oleh ahli radiologi turut dijelaskan. Penyelidikan-penyelidikan terdahulu yang berkait dengan pemprosesan, segmentasi dan pengkelasan densiti payudara pada imej mamogram turut dibincangkan. Kelemahan dalam penyelidikan terdahulu turut dikenalpasti. Penilaian kecekapan segmentasi serta permasalahan dasar sebenar turut disentuh. Keterangan teknik potongan graf serta potensinya turut dinyatakan dalam Bab 2 ini.

Bab 3 menyentuh tentang metodologi penyelidikan yang memberikan kerangka baru dalam pelaksanaan penyelidikan. Kelemahan dalam penyelidikan terdahulu telah memberikan idea dalam rekaan kerangka baru penyelidikan ini. Perbezaan dalam kerangka baru ini berbanding penyelidikan pengesanan densiti terdahulu turut diberikan. Bab 4 akan memberikan penerangan terperinci teknik-teknik yang diperkenalkan pada peringkat pra-pemprosesan, keratan imej profil payudara automatik, pengestrakan otot pektoral, pembaikan teknik potongan graf, pengesanan kawasan densiti, pengkelasan densiti dan algoritma yang terlibat diterangkan secara terperinci. Seterusnya penilaian kecekapan melibatkan dasar sebenar daripada ahli radiologi turut dibincangkan. Dasar sebenar segmentasi bagi penyelidikan ini adalah melibatkan dasar sebenar terperinci daripada ahli radiologi yang berpengalaman. Peratusan densiti payudara digunakan dalam memodelkan teknik pengkelasan bagi penyelidikan ini. Peramalan kelas densiti payudara kepada kategori BIRADS berdasarkan peratusan densiti payudara yang dikesan daripada proses segmentasi turut dijelaskan. Kesemua teknik-teknik yang dirangka adalah sebagai memenuhi objektif penyelidikan ini.

Bab 5 memberikan keputusan-keputusan penyelidikan secara kualitatif dan kuantitatif. Keputusan-keputusan pra-pemrosesan, pengekstrakan kawasan otot pektoral, segmentasi potongan graf terubahsuai dan penilaian kecekapan kawasan densiti payudara dibincangkan dalam bab ini. Permasalahan dalam penilaian kecekapan segmentasi turut dikupas secara terperinci. Perbandingan dengan penyelidikan terdahulu secara kualitatif dan kuantitatif turut dibincangkan. Dasar sebenar yang bersifat subjektif menyukarkan dan mempengaruhi penilaian yang tepat diperolehi sebagai perbandingan. Selain itu, kawasan densiti payudara turut digunakan bagi menganggarkan pengkelasan kepada kategori BIRADS. Keputusan analisa statistik yang terlibat turut diberikan.

Bab 6 merupakan bab terakhir yang akan memberikan kesimpulan dan cadangan perkara-perkara yang patut dititikberatkan bagi penyelidikan akan datang.

BAB2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Pendahuluan

Mamografi adalah sinar-X yang menghasilkan imej payudara dan imej yang terhasil ini dipanggil mamogram. Mamografi adalah peralatan pengimejan asas yang digunakan secara meluas bagi pemeriksaan penyaringan kanser payudara. Ia adalah alat pengimejan yang paling sesuai bagi pengesanan awal kanser payudara jika dibandingkan dengan alat-alat pengimejan yang lain seperti MRI dan ultrasound. Ini disebabkan mamografi dapat mengesan kanser pada peringkat awal, walaupun belum terdapat simptom seperti ketulan (*mass*), herotan pada struktur normal (*architectural distortion*) atau kesakitan pada payudara pesakit. Kanser payudara adalah penyebab kadar kematian tertinggi di kalangan wanita di serata dunia (Hisham & Yip, 2003; Hisham & Yip, 2004; GLOBOCAN 2008, 2012). Oleh itu, pengesanan awal kanser payudara adalah amat penting dalam meningkatkan peluang pemulihan dan seterusnya mengurangkan kadar kematian di kalangan wanita.

Kajian epidemiologi telah menunjukkan bahawa densiti payudara adalah faktor risiko utama kepada kanser payudara. Kajian melaporkan bahawa wanita yang mempunyai payudara dengan densiti yang tinggi mempunyai kadar risiko yang lebih banyak, malah dua hingga enam kali ganda berbanding wanita yang mempunyai payudara dengan densiti yang rendah (McCormack & Dos Santos Silva, 2006; Vachon *et al.*, 2007). Menurut Boyd *et al.* (2005), wanita yang mempunyai densiti melebihi 75 peratus daripada kawasan payudara, berisiko empat hingga lima kali ganda untuk mengidap kanser payudara berbanding wanita dalam usia yang sama tetapi mempunyai payudara berdensiti rendah. Satu per tiga daripada kanser payudara ditemui pada wanita yang mempunyai densiti payudara melebihi 50% (Boyd *et al.*, 2005). Di Asia, khususnya Malaysia, statistik menunjukkan penyakit kanser payudara melanda pesakit dalam usia yang lebih muda jika dibandingkan

dengan negara Barat (Hisham & Yip, 2004). Wanita muda biasanya mempunyai densiti payudara yang lebih tinggi berbanding wanita yang berumur 50 tahun ke atas. Namun, penyelidikan-penyelidikan terdahulu lebih tertumpu kepada pengesanan ketumbuhan (*tumour*) dan juga mikrokalsifikasi (*microcalcification*) tanpa menitikberatkan jenis-jenis tisu payudara serta anatomi payudara. Terdapat hanya segelintir penyelidik yang menekankan usaha kepada mencari ciri-ciri kawasan yang mana terjadinya keabnormalan tersebut. Kawasan yang dimaksudkan adalah kawasan tisu glandular, di mana sering terdapatnya densiti payudara. Malangnya, sensitiviti mamografi semakin berkurangan dengan peningkatan densiti payudara (Yaghjian *et al.*, 2011). Oleh itu, adalah menjadi suatu keperluan bagi penyelidikan difokuskan kepada densiti payudara.

2.2 Statistik Kanser Payudara

Kanser payudara adalah kanser utama yang paling kerap menyerang wanita di serata dunia (GLOBOCAN 2008, 2012). Ia dikatakan menjadi penyebab utama kepada kematian akibat kanser. Dianggarkan ia adalah sejumlah 23% (1.38 juta) daripada keseluruhan kes kanser dan 14% (458, 400) adalah kematian akibat kanser pada tahun 2008 (Jemal *et al.*, 2011). Secara umumnya, tahap insiden tertinggi terjadi di negara Eropah Barat, Eropah Utara, Australia, New Zealand dan Amerika Utara. Sebaliknya, insiden di Amerika Selatan, Caribbean dan Afrika Utara berada pada tahap pertengahan. Manakala tahap insiden rendah di sub-Saharan Afrika dan Asia. Walaubagaimanapun, kematian akibat kanser payudara semakin menurun di Amerika Utara dan beberapa negara Eropah. Ini berpunca daripada kesedaran dan pengesanan awal menggunakan mamogram dalam kalangan wanita serta rawatan awal yang diberikan. Hampir separuh daripada kes kanser dan 60% daripada kematian terjadi di negara-negara sedang membangun. Kadar insiden dan kematian di Afrika dan Asia pula semakin meningkat. Salah satu faktor penyumbang kepada meningkatnya insiden tersebut ialah kurangnya kesedaran

tentang kanser payudara serta kurangnya aktiviti penyaringan payudara (Jemal *et al.*, 2011). Sedangkan pesakit kanser payudara boleh bertahan lebih daripada lima tahun dan kunci kelangsungan hidup tersebut adalah pengesanan awal, termasuk melakukan penyaringan mamografi dan menjalani rawatan.

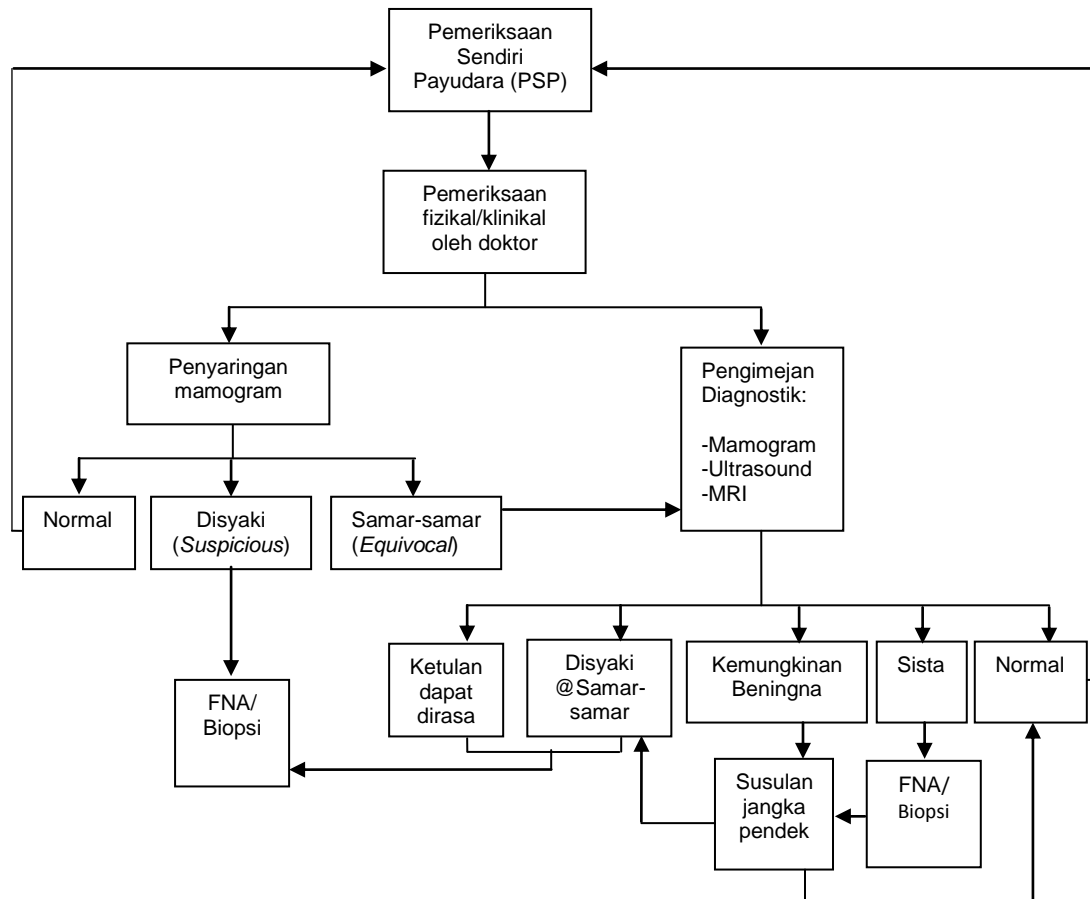
Di negara Barat, kanser payudara biasanya menyerang wanita berusia 50 tahun ke atas. Keadaan ini berbeza pula dengan di Asia. Di Malaysia khususnya, kanser menyerang wanita dalam usia yang lebih muda iaitu 50 tahun dan ke bawah. Seperti kebanyakan negara lain, kanser payudara adalah penyebab kematian yang utama bagi wanita di Malaysia (Hisham & Yip, 2003; Hisham & Yip, 2004). Angka statistik semasa sukar diketahui disebabkan kurangnya pengumpulan dan pendaftaran data terkemaskini. Prognosis keseluruhan adalah lemah, kerana masih terdapat ramai pesakit kanser payudara yang dikenalpasti berada pada tahap 3 dan 4 (Lim & Azura, 2008). Pengesanan awal menggunakan mamografi dapat meningkatkan pilihan rawatan serta mengurangkan kadar kematian. Menurut laporan Pendaftar Kanser Kebangsaan (*National Cancer Registry*) yang diterbitkan pada tahun 2011 (Zainal Ariffin & Nor Saleha, 2011), daripada 18,219 jumlah kes kanser baru yang didiagnos, 18.1% (3297 kes) adalah kanser payudara. Ia menyumbang kepada kanser tertinggi di Malaysia. Daripada 10,096 (55.4%) jumlah kes kanser yang melanda wanita di Malaysia, 32.1% (3240 kes) adalah kanser payudara. Menurut Agensi Penyelidikan Kanser Antarabangsa (GLOBOCAN 2008, 2012), kanser payudara pada tahap 3 dan 4 hampir menjangkau 42% daripada keseluruhan kes, manakala tahap 1 dan 2 ialah 58%.

2.3 Perkaitan Densiti Payudara dan Kanser Payudara

Kanser adalah kumpulan penyakit yang disebabkan oleh sel di dalam tubuh yang berubah dan membesar diluar kawalan. Jika tidak dikesan dan dirawat secepat mungkin, kanser payudara boleh merebak ke kelenjar limfa dan bahagian badan yang lain seperti tulang, paru-paru dan hati. Di antara simptom awal kanser

payudara yang dapat diperhatikan semasa pemeriksaan klinikal ialah ketulan yang tidak menyakitkan, keras dan berkedudukan tetap. Jika ketulan tersebut boleh bergerak, ia seakan sista beningna (*benign cysts*) tetapi bukan kanser. Ketumbuhan benigna tidak membesar secara tidak terkawal serta tidak mengancam nyawa. Simptom-simptom lain adalah seperti herotan payudara, lekukan pada permukaan kulit, bengkak, kerengsaan kulit, edema pada kulit (kelihatan seperti kulit oren), lelehan pada puting serta urat darah yang mengembang pada permukaan payudara. Adakalanya terdapat rasa sakit tanpa kehadiran ketulan yang dapat dikesan. Kanser peringkat permulaan yang terlalu kecil ini biasanya tidak dapat dirasa semasa pemeriksaan fizikal, tetapi dapat dikesan melalui pengimejan mamografi. Protokol semasa penyaringan kanser payudara ditunjukkan pada Rajah 2.1.

Hampir kebanyakan kes kanser membentuk ketumbuhan atau ketulan (*lump or mass*) yang dipanggil tumor. Namun, pada peringkat awal, kanser payudara ini biasanya tidak menunjukkan apa-apa simptom. Mamografi merupakan alat pengimejan yang mula-mula digunakan dalam penyaringan awal kanser payudara. Payudara terdiri daripada 15 hingga 20 bahagian yang dipanggil lobus (*lobes*) dan mempunyai bahagian yang lebih kecil dipanggil lobul (*lobule*). Setiap lobus dan lobul disambungkan oleh tiub yang nipis dipanggil duktus (*ducts*). Kanser payudara bermula dari tisu payudara yang terdiri daripada kelenjar bagi penghasilan susu yang dipanggil lobul dan duktus yang menyambungkan lobul kepada puting payudara.



Rajah 2.1: Protokol semasa penyaringan kanser payudara

Kanser payudara dikatakan jenis *In Situ* jika terjadi di dalam kawasan sama ada pada duktus (*Ductal Carcinoma In Situ*, DCIS) atau lobul (*Lobular Carcinoma In Situ*, LCIS). Statistik daripada *American Cancer Society* (2012) melaporkan, di antara tahun 2004 hingga 2008, kebanyakan kanser payudara *In Situ* adalah daripada jenis LCIS iaitu sekitar 83%. Kebanyakan kanser payudara merebak (*invasive*) dan menyusup secara senyap. Ia bermula dari duktus dan lobul pada payudara dan melepasi dinding duktus dan lobul bagi menyerang tisu-tisu payudara yang lain. Keputusan biopsi dapat menentukan sama ada kanser tersebut jenis *In Situ* atau merebak (*invasive*) dan sama ada berada di lobul atau duktus. Ilustrasi bagi anatomi payudara dan tahap kanser payudara Duktus Karsinoma (*The Pink*

Ribbon Butterfly, 2012), ditunjukkan pada LAMPIRAN A. Ringkasnya, kanser payudara terdiri daripada jenis-jenis di bawah:

1. Kanser setempat *In Situ* Karsinoma (*Carcinoma In Situ*) - istilah ini merujuk kepada kanser peringkat awal dan masih berada di tempat ia bermula iaitu terhad pada lobul yakni kelenjar susu payudara.
2. Kanser *In Situ* Duktus Karsinoma (*Ductal Carcinoma In Situ*, DCIS) - ia adalah jenis kanser payudara yang tidak merebak (*non-invasive*) dan berada di sekitar duktus susu payudara.
3. Kanser *In Situ* Lobul Karsinoma (*Lobular Carcinoma In Situ*, LCIS) - bermula di kelenjar susu iaitu lobul dan tidak melepasi dindingnya.
4. Kanser Duktus Karsinoma Merebak (*Invasive Ductal Carcinoma*, IDC) - bermula pada kelenjar susu iaitu lobul, melepasi dinding duktus dan merebak ke tisu payudara lain.
5. Kanser Lobul Karsinoma Merebak (*Invasive Lobular Carcinoma*, ILC) - bermula pada kelenjar susu iaitu lobul. Ia boleh merebak ke bahagian tubuh yang lain.

Jika diperhatikan kebanyakan kanser bermula pada kelenjar susu (lobul) yakni kawasan glandular pada payudara. Tumor biasanya lebih padat dan berdensiti lebih tinggi (*hyperdense*) berbanding kawasan densiti normal dan kawasan anatomi payudara yang lain. Kawasan densiti merujuk kepada kawasan payudara normal yang padat (*dense*). Tumor atau sebarang keabnormalan sering terjadi pada kawasan densiti ini dan mempunyai kecerahan yang seakan-akan sama. Tetapi hakikatnya, tumor mempunyai kecerahan yang lebih berbanding kawasan densiti normal. Walaubagaimanapun, perbezaan keamatan skala kelabu bagi kawasan lebih padat (berdensiti lebih tinggi) dan densiti normal sukar untuk dibezakan menggunakan mata kasar. Oleh itu, suatu kaedah pengesanan berbantuan

komputer (CADe) bagi densiti payudara adalah perlu, bagi memisahkan kawasan tumor yang berdensiti lebih tinggi daripada kawasan densiti yang normal ini.

Densiti payudara juga disebut densiti *parenchymal* payudara atau densiti *parenchymal* mamografi, adalah petanda penting kepada risiko kanser payudara. Disebabkan densiti payudara menyumbang kepada risiko kanser payudara, pelbagai metrik telah dirangka bagi mengukur densiti payudara ini. Terdapat empat metrik utama yang digunakan bagi mengaitkan tahap densiti *parenchymal* mamografi dan risiko kanser payudara, iaitu:

1. Wolfe membahagikan densiti payudara kepada empat kategori densiti *parenchymal* (Wolfe, 1976a).
2. Boyd *et al.* (1995) dan Byng *et al.* (1994) membahagikan densiti payudara kepada enam kategori densiti *parenchymal*.
3. BIRADS membahagikan densiti payudara kepada empat kategori densiti *parenchymal* (American College of Radiology, 2004).
4. Tabar *et al.* (2005) membahagikan densiti payudara kepada lima kategori densiti *parenchymal*.

Wolfe (1976a) adalah orang yang pertama mengkaji kategori bagi densiti payudara yang diperhatikan dalam mamografi dan perkaitan dengan kanser payudara. Empat kategori telah digunakan sebagai pengukur kepada risiko terdapatnya kanser payudara. Iaitu:

1. N1- keseluruhannya lemak
2. P1- densiti payudara kurang satu perempat daripada keseluruhan payudara.
3. P2- densiti payudara lebih satu perempat daripada keseluruhan payudara disebabkan peningkatan tisu perantara hiperplasia (*connective tissue hyperplasia*) sekeliling duktus (*duct*).
4. DY- ditandakan sebagai kelenjar mamari displasia (*mammary gland dysplasia*) bagi menerangkan perihal densiti.

Dalam kajian retrospektifnya, Wolfe melaporkan insiden kanker berlaku 37 kali ganda pada kategori DY berbanding N1. Daripada 82% kanker yang terjadi, 33% daripada populasi tersebut tertumpu pada kumpulan P2 dan DY (Wolfe, 1976b). Penilaian kualitatif densiti payudara ini sejajar dengan Sistem Data dan Laporan Pengimejan Payudara (*Breast Imaging Report and Data System*) atau lebih dikenali sebagai BIRADS yang digariskan oleh American College of Radiology (2004). Sistem BIRADS ini merupakan penilaian *standard* bagi imej mamografi dan digunakan dengan meluas. Dalam sistem ini, densiti payudara dibahagikan kepada empat kategori iaitu:

1. BIRADS 1 - payudara mempunyai hampir keseluruhannya lemak
2. BIRADS 2 - payudara mempunyai taburan densiti fibroglandular
3. BIRADS 3 - payudara mempunyai densiti heterogen
4. BIRADS 4 - payudara mempunyai densiti homogen atau densiti melampau (*extremely dense*)

Kini, kategori-kategori ini kemudian diterjemahkan secara lebih kuantitatif bagi menggambarkan kawasan densiti secara peratusan, di mana:

1. BIRADS 1 - densiti payudara kurang daripada 25%
2. BIRADS 2 - densiti payudara di antara 25% hingga 50%
3. BIRADS 3 - densiti payudara di antara 51% hingga 75%
4. BIRADS 4 - densiti payudara melebihi 75%

Bagi pembahagian kepada enam bentuk densiti *parenchymal* atau disebut SCC (*Six category classification*), densiti payudara dikategorikan seperti berikut:

1. Kelas SCC 1 - densiti payudara 0%
2. Kelas SCC 2 - densiti payudara di antara 1% hingga 10%
3. Kelas SCC 3 - densiti payudara di antara 11% hingga 24%
4. Kelas SCC 4 - densiti payudara melebihi 25% hingga 49%
5. Kelas SCC 5 - densiti payudara melebihi 50% hingga 74%
6. Kelas SCC 6 - densiti payudara melebihi 75% hingga 100%

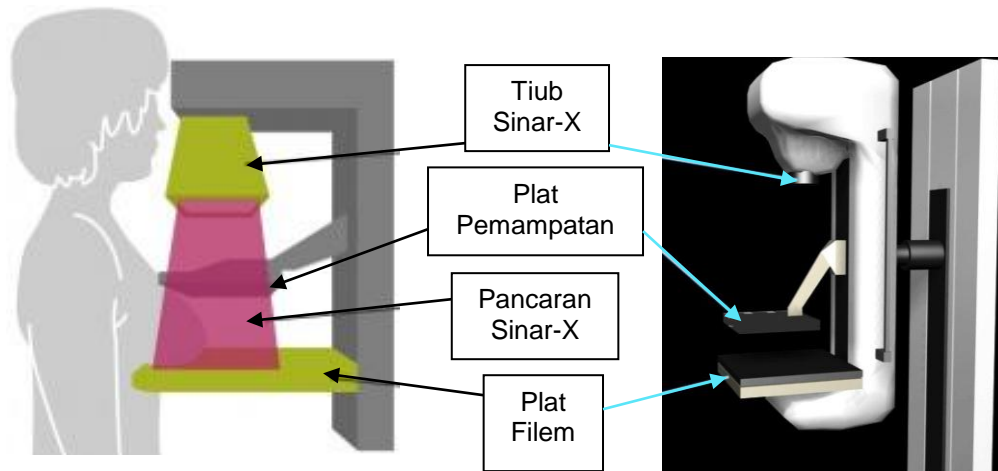
Perbandingan keempat-empat pendekatan dalam penilaian mamografi tersebut dibincangkan oleh Muhimmah *et al.* (2006). Dalam pentafsiran imej mamografi, ahli radiologi akan menganggarkan peratusan densiti payudara yang dilihat pada imej mamogram. Berbekalkan pengetahuan perubatan dan pengalaman, ahli radiologi akan melakukan analisa secara subjektif bagi mengkategorikan peratusan densiti tadi kepada kategori tertentu. Keputusan yang bersifat subjektif ini memberikan kepelbagaian pentafsiran secara kualitatif dan mengundang percanggahan pendapat di kalangan ahli radiologi. Oleh itu, suatu sistem pengesanan densiti sudah tentu akan dapat memberikan keputusan yang bersifat kuantitatif.

2.4 Mamogram

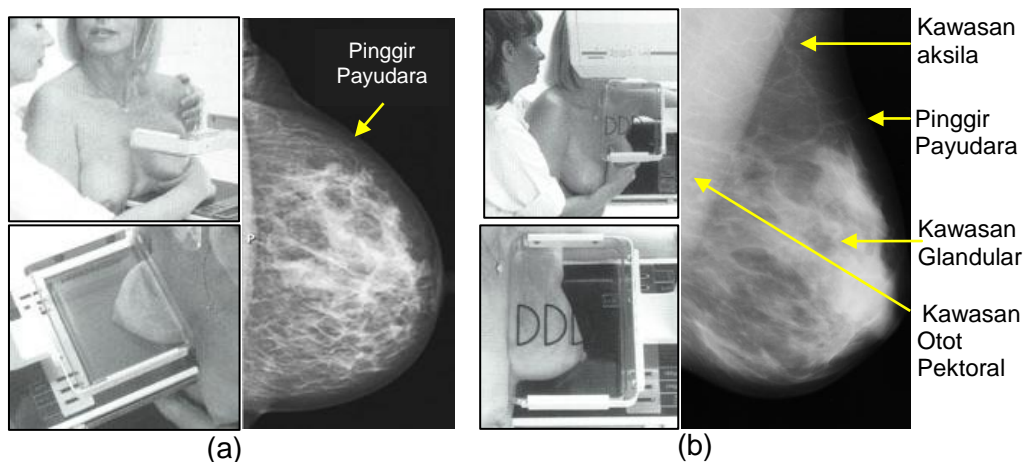
Sepertimana yang dinyatakan pada awal bab ini, mamogram adalah imej yang terhasil daripada unjuran (*projection*) sinar-x bagi struktur tiga dimensi (3D) payudara oleh alat pengimejan mamografi. Ia diperolehi dengan memampatkan payudara di antara dua kepingan plat seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2.2 (Siemens Healthcare, 2013). Unjuran payudara pada mamogram dapat dibuat daripada sudut-sudut yang berbeza. Dua unjuran utama yang biasanya digunakan ialah pandangan media-lateral oblik (*Media-Lateral Oblique*, MLO) dan kranio-kaudal (*Cranio-Caudal*, CC). Imej mamogram bagi kedua-dua pandangan MLO dan CC ditunjukkan pada Rajah 2.3 (Imaginis Corporation, 2013).

Imej mamogram terhasil berdasarkan kadar penyerapan sinar-x yang berbeza-beza oleh pelbagai tisu yang terdapat pada payudara. Tidak seperti kebanyakan imej sinar-x atau Tomografi Berkomputer (CT), imej mamogram sememangnya kabur dan mempunyai taburan keamatan yang berselerak. Ini disebabkan oleh pertindihan keamatan tisu-tisu payudara yang berbeza-beza, lantas memberikan ciri-ciri penyusutan sinar-x yang berbeza-beza. Pertindihan

struktur menyebabkan berlakunya kesamaran dalam imej. Pertindihan ini juga menyukarkan usaha membezakan kawasan tisu yang berbeza-beza.



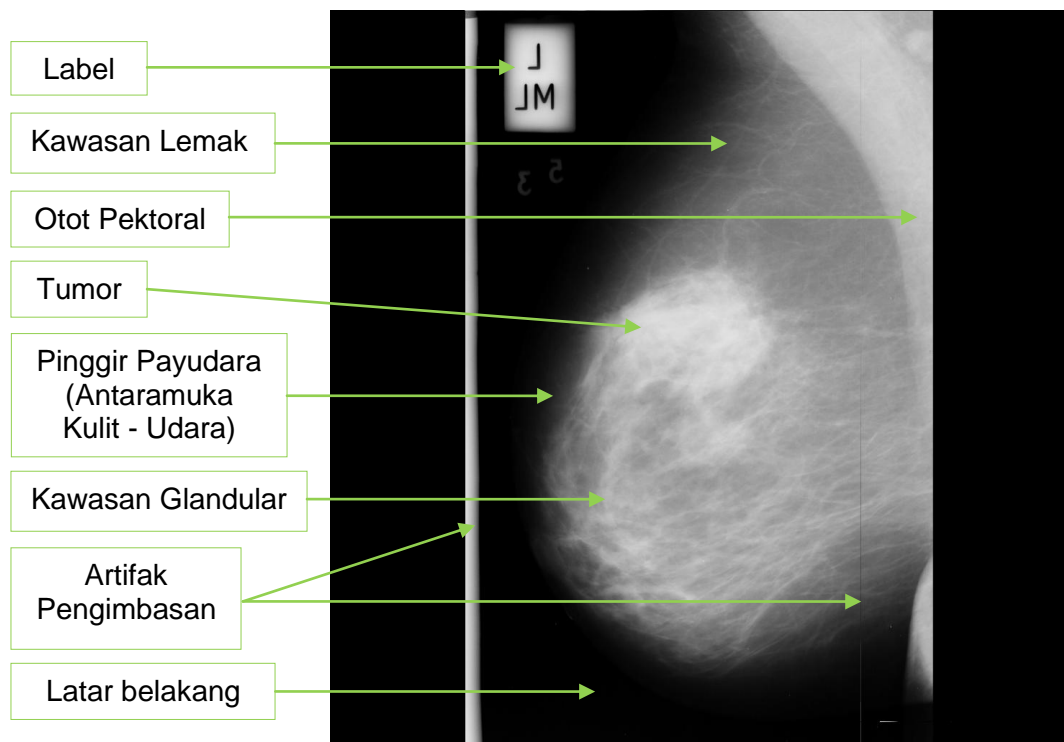
Rajah 2.2: Pemampatan payudara di antara dua plat semasa pengimejan mamografi (Siemens Healthcare, 2013).



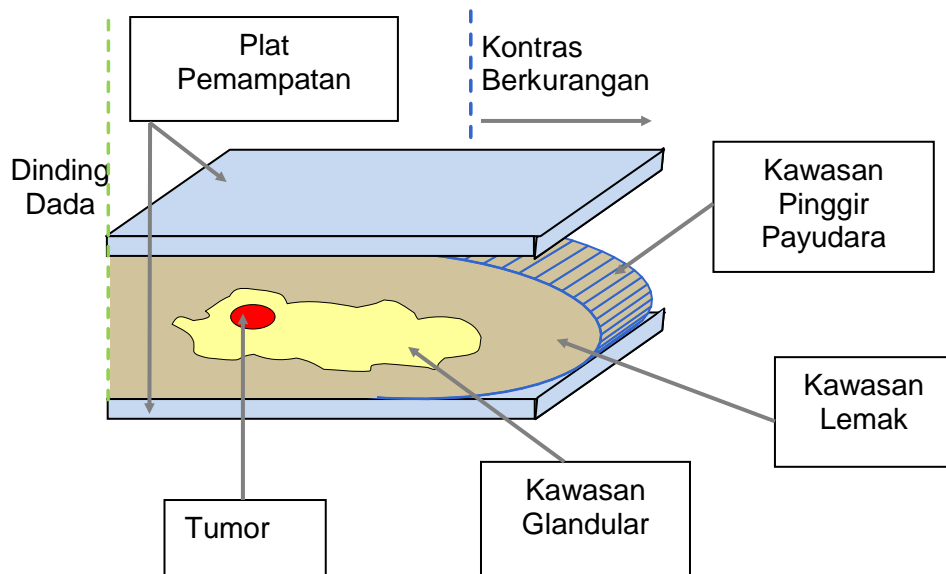
Rajah 2.3: Imej mamogram pada (a) pandangan CC dan (b) pandangan MLO (Imaginis Corporation, 2013).

Pada setiap imej mamogram, terdapat dua kawasan utama iaitu, kawasan payudara dan kawasan bukan payudara. Kawasan payudara adalah kawasan payudara yang bersentuhan dengan plat manakala kawasan bukan payudara adalah kawasan yang tidak bersentuhan dengan plat. Kawasan payudara terdiri daripada kawasan pinggir payudara yang merangkumi puting payudara, kawasan

lemak, kawasan glandular, kawasan berdensiti tinggi dan otot pektoral. Otot pektoral hanya kelihatan pada pandangan MLO bermula di sebelah atas imej mamogram menyerong ke bawah selaras dengan puting payudara. Manakala imej mamogram bagi kawasan bukan payudara terdiri daripada latar belakang, label, penanda legap, hingar dan artifak pengimbasan. Pembahagian anatomi payudara pada imej mamogram ini dapat dilihat pada Rajah 2.4. Terdapat juga kawasan yang mempunyai kontras yang rendah pada pinggir payudara iaitu kawasan di mana payudara lebih meruncing, menyebabkan pemampatan payudara menjadi tidak sekata, berdekatan dengan kawasan pinggir payudara seperti yang digambarkan pada Rajah 2.5. Ini menjadikan pinggir payudara pada imej mamogram tidak jelas kelihatan.



Rajah 2.4: Pembahagian anatomi kawasan payudara dan juga kawasan bukan payudara pada imej mamogram.



Rajah 2.5: Ilustrasi kawasan-kawasan payudara apabila payudara dimampatkan.

2.5 Pemprosesan dan Segmentasi Imej Mamogram

Segmentasi adalah proses di mana imej dibahagikan kepada kawasan-kawasan yang mewakili objek-objek (tisu-tisu) tertentu. Ia adalah salah satu proses yang penting dalam pemprosesan imej. Pada kebiasaannya, segmentasi adalah langkah awal yang perlu dilaksanakan dengan jaya, sebelum langkah-langkah pemprosesan imej seterusnya seperti pengekstrakan ciri dan pengelasan imej dilakukan (Solomon & Breckon, 2011). Tujuan utama segmentasi adalah membahagikan imej kepada kawasan-kawasan yang memberikan label yang bermakna. Bagi imej mamogram, segmentasi yang dilakukan seharusnya dapat memberikan atau melabelkan kawasan-kawasan bagi mewakili tisu-tisu berbeza yang terdapat pada payudara. Terdapat dua pendekatan dalam segmentasi iaitu segmentasi pinggir (*edge segmentation*) atau disebut juga pengesanan sempadan (*boundary detection*) dan juga segmentasi kawasan (*region segmentation*). Salah satu perkara yang mencabar dalam pengesanan berbantuan komputer (*Computer Aided Detection, CAD*) yang melibatkan segmentasi imej perubatan adalah segmentasi secara automatik.