

**PENDEKATAN BAHARU PENAPIS MEDIAN PENSUISAN  
UNTUK PENGURANGAN HINGAR IMPULS TAHAP RENDAH  
PADA IMEJ DIGITAL**

oleh

**MOHD HELMI BIN SUID**

Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sains

Jun 2014

## PENGHARGAAN

Pertamanya, saya ingin merakamkan penghargaan yang tidak terhingga kepada penyelia saya, Prof. Madya Dr. Nor Ashidi bin Mat Isa atas bimbingan dan galakan yang diberikan kepada saya sepanjang perjalanan projek ini. Beliau telah banyak meluangkan masa membimbing saya bagi menyempurnakan projek Sarjana ini, terutama sekali apabila saya menghadapi beberapa kesusahan dan kesulitan dalam hal yang berkaitan dengan kerja uji kaji. Selain itu, beliau juga telah membekalkan banyak maklumat yang relevan dan berguna dalam projek saya. Segala daya usaha beliau amatlah dihargai dan akan menjadi sesuatu yang bernilai untuk saya ingati.

Saya juga amat terhutang budi kepada pihak Universiti Malaysia Pahang dan Kementerian Pengajian Tinggi selaku penaja kerana memperuntukkan kepada saya sejumlah pembiayaan kewangan di bawah Skim Latihan Akademik Bumiputera; yang pada amnya banyak membantu bagi membiayai setiap perbelanjaan yang penting terutamanya yuran pengajian.

Terima kasih juga diucapkan kepada rakan-rakan sekerja di dalam makmal 'Imaging and Intelligent System Research Team (ISRT)', terutamanya Kenny Toh Kal Vin, Chan Keam Seng dan Mohd Naim Jain yang tidak berhenti-henti memberi sumber informasi berkaitan projek saya ini. Selain daripada berkongsi idea dan pengalaman, mereka juga telah membantu saya dari konteks penulisan pengaturcaraan.

Yang terakhir tetapi tidak kurang pentingnya, ucapan setinggi penghargaan dan terima kasih kepada ibu bapa, isteri dan ahli keluarga yang lain kerana sentiasa memberi galakan moral kepada saya. Tanpa sokongan dan kesabaran mereka, ia akan menjadi sukar bagi saya bagi mengharungi cabaran dalam menyiapkan tesis ini.

## ISI KANDUNGAN

Penghargaan .....	ii
Isi Kandungan .....	iii
Senarai Jadual .....	vi
Senarai Rajah .....	vii
Senarai Singkatan Perkataan .....	ix
Senarai Simbol .....	xii
Abstrak .....	xv
Abstract .....	xvii

### BAB 1– PENGENALAN

1.1	Pendahuluan .....	1
1.2	Penyingkiran Hingar Imej Digital .....	3
1.3	Pernyataan Masalah .....	5
1.4	Objektif Penyelidikan .....	7
1.5	Skop Penyelidikan .....	8
1.6	Garis Panduan Tesis .....	9

### BAB 2– KAJIAN ILMIAH

2.1	Pendahuluan .....	11
2.2	Imej Digital dan Hingar .....	11
	2.2.1 Perwakilan Imej Digital .....	12
	2.2.2 Model Hingar Impuls .....	14
2.3	Penyingkiran Hingar Impuls .....	17

2.3.1	Penapis Hingar .....	18
2.3.2	Penapis Median Konvensional .....	20
2.3.3	Penapis Median Pensuisan Konvensional .....	23
2.4	Ulasan .....	33
2.5	Kesimpulan .....	35

### BAB 3– METODOLOGI

3.1	Pendahuluan .....	37
3.2	Penapis Median Pensuisan Statistik Dwi-gelongsor (MPSDG) .....	38
3.2.1	Pengesanan Hingar Impuls Bernilai Rawak .....	39
3.2.2	Penapisan Hingar Impuls Bernilai Rawak .....	43
3.2.3	Pelarasan Parameter .....	46
3.3	Penapis Median Pensuisan Hibrid Mahir (MPHM) .....	47
3.3.1	Pengesanan Hingar Impuls Berasaskan Konsep Susunan Pangkat Peringkat Kedua .....	49
3.3.2	Pengesanan Hingar Impuls Berasaskan Konsep Korelasi Bergantung Pada Arah .....	52
3.3.3	Pemulihan Rekursif MPHM .....	55
3.3.4	Pelarasan Parameter .....	58
3.4	Analisis Prestasi .....	60
3.4.1	Sampel Imej Ujian .....	60
3.4.2	Analisis Kuantitatif .....	64
3.5	Ringkasan .....	65

## BAB 4– KEPUTUSAN SIMULASI DAN PERBINCANGAN

4.1	Pendahuluan .....	67
4.2	Perbandingan Prestasi Penapis MPSDG dan Penapis Konvensional ...	68
4.2.1	Perbandingan Secara Pemeriksaan Visual .....	69
4.2.2	Perbandingan Secara Analisis Kuantitatif .....	77
4.2.3	Perbandingan Prestasi Dari Sudut Kecekapan Masa Pemrosesan .....	82
4.3	Perbandingan Prestasi Penapis MPHM dan Penapis Konvensional .....	83
4.3.1	Perbandingan Secara Pemeriksaan Visual .....	84
4.3.2	Perbandingan Secara Analisis Kuantitatif .....	91
4.3.3	Perbandingan Prestasi Dari Sudut Kecekapan Masa Pemrosesan .....	95
4.4	Kesimpulan .....	96

## BAB 5– KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Kesimpulan .....	97
5.2	Cadangan Masa Hadapan .....	99
	RUJUKAN .....	101
	Senarai Penerbitan .....	108

## SENARAI JADUAL

Jadual 2.1	Perbandingan prestasi pemulihan imej oleh penapis-penapis berasaskan purata dan median .....	20
Jadual 2.2	Perbandingan prestasi pemulihan imej oleh kelas-kelas penapis berasaskan median .....	22
Jadual 2.3	Perbandingan prestasi pemulihan imej oleh penapis-penapis dalam kelas median pensuisan .....	32
Jadual 4.1	Pelarasan parameter yang dicadangkan untuk setiap penapis konvensional .....	68
Jadual 4.2	Perbandingan nilai PSNR pada ketumpatan hingar yang berbeza untuk imej ' <i>Pepper</i> ', ' <i>Yacht</i> ' dan ' <i>Cameraman</i> ' .....	78
Jadual 4.3	Perbandingan nilai MAE pada ketumpatan hingar yang berbeza untuk imej ' <i>Pepper</i> ', ' <i>Yacht</i> ' dan ' <i>Cameraman</i> ' .....	79
Jadual 4.4	Perbandingan nilai PSNR pada ketumpatan hingar yang berbeza untuk imej ' <i>Goldhill</i> ', ' <i>Boat</i> ' dan ' <i>Pentagon</i> ' .....	92
Jadual 4.5	Perbandingan nilai MAE pada ketumpatan hingar yang berbeza untuk imej ' <i>Goldhill</i> ', ' <i>Boat</i> ' dan ' <i>Pentagon</i> ' .....	93

## SENARAI RAJAH

Rajah 1.1	Domain kaedah pemulihan imej .....	2
Rajah 1.2	Gambar rajah blok mewakili proses degradasi dan pemulihan imej .....	3
Rajah 2.1	Gambar dengan $6 \times 6$ bahagian kecil .....	12
Rajah 2.2	Imej digital bersaiz $U \times V$ .....	13
Rajah 2.3	Aras kelabu dalam imej skala kelabu 8-bit .....	13
Rajah 2.4	Jenis-jenis hingar impuls .....	14
Rajah 2.5	Imej ujian dan histogram .....	16
Rajah 2.6	Proses penjanaan imej yang tercemar oleh hingar impuls bernilai rawak .....	17
Rajah 2.7	Rangka kerja asas penapis pensuisan .....	23
Rajah 2.8	Kaedah-kaedah penapisan hingar impuls dalam domain pensuisan .....	23
Rajah 2.9	Set koordinat pengesanan hingar impuls penapis DWM .....	29
Rajah 2.10	Gambar rajah blok konsep penapisan TSM. ....	30
Rajah 2.11	Jenis-jenis penapis median pensuisan dalam kelas masing-masing .....	33
Rajah 3.1	Graf jaringan <i>diffMAD</i> .....	41
Rajah 3.2	Contoh ilustrasi operasi penapisan hingar oleh penapis MPSDG .....	45
Rajah 3.3	Carta alir proses penapis MPHMM .....	48
Rajah 3.4	Operator sensitif pinggir 2-Dimensi .....	53
Rajah 3.5	Contoh gambaran operasi penapis hingar MPHMM .....	56

Rajah 3.6	Graf purata PSNR dengan penggunaan saiz tettingkap yang berbeza	59
Rajah 3.7	Graf purata masa pemprosesan dengan penggunaan saiz tettingkap yang berbeza	59
Rajah 3.8	Imej-imej ujian piawai yang asal .....	61
Rajah 3.9	Profil imej berfrekuensi tinggi dalam domain ruang .....	62
Rajah 3.10	Profil imej berfrekuensi rendah dalam domain ruang .....	63
Rajah 4.1	Keputusan pemulihan imej ujian ' <i>Pepper</i> ' yang dicemari oleh hingar impuls .....	70
Rajah 4.2	Keputusan pemulihan imej ujian ' <i>Yacht</i> ' yang dicemari oleh hingar impuls .....	72
Rajah 4.3	Keputusan pemulihan imej ujian ' <i>Cameraman</i> ' yang dicemari oleh hingar impuls .....	74
Rajah 4.4	Graf purata PSNR berdasarkan 100 imej ujian .....	80
Rajah 4.5	Graf purata MAE berdasarkan 100 imej ujian .....	80
Rajah 4.6	Graf purata masa pemprosesan berdasarkan 100 imej ujian .....	82
Rajah 4.7	Keputusan pemulihan imej ujian ' <i>Goldhill</i> ' yang dicemari oleh hingar impuls .....	85
Rajah 4.8	Keputusan pemulihan imej ujian ' <i>Boat</i> ' yang dicemari oleh hingar impuls .....	87
Rajah 4.9	Keputusan pemulihan imej ujian ' <i>Pentagon</i> ' yang dicemari oleh hingar impuls .....	90
Rajah 4.10	Graf purata PSNR berdasarkan 100 imej ujian .....	94
Rajah 4.11	Graf purata MAE berdasarkan 100 imej ujian .....	94
Rajah 4.12	Graf purata masa pemprosesan berdasarkan 100 imej ujian .....	95



## SENARAI SINGKATAN PERKATAAN

<b>3-D</b>	<i>3 Dimensional</i> (3 Dimensi)
<b>AM</b>	<i>Adaptive Median Filter</i> (Penapis Median Adaptif)
<b>ACWM</b>	<i>Adaptive Center Weighted Median Filter</i> (Penapis Median Pusat Berpemberat Adaptif)
<b>AFS</b>	<i>Adaptive Fuzzy Switching Filter</i> (Penapis Pensuisan Fuzi Adaptif)
<b>AVM</b>	<i>Adaptive Vector Median Filter</i> (Penapis Median Vektor Adaptif)
<b>AWM</b>	<i>Adaptive Weighted Median Filter</i> (Penapis Median Berpemberat Adaptif)
<b>BF</b>	<i>Binomial Filter</i> (Penapis Binomial)
<b>BLF</b>	<i>Bilateral Filter</i> (Penapis Dua Hala)
<b>CCTV</b>	<i>Closed-circuit Television</i> (Kamera Litar Tertutup)
<b>CWM</b>	<i>Center Weighted Median Filter</i> (Penapis Median Pusat Berpemberat)
<b>dB</b>	Desibel
<b>DBA</b>	<i>Decision-based Algorithm Filter</i> (Penapis Algoritma Berasaskan Keputusan)
<b>DWM</b>	<i>Directional Weighted Median Filter</i> (Penapis Median Berpemberat Arah)
<b>EDPA</b>	<i>Efficient Detail-preserving Approach</i> (Pendekatan Pemuliharaan Perincian yang Cepak)

<b>FMEM</b>	<i>Functional Minimization Effective Median Filter</i> (Penapis Median Pengurangan Fungsi yang Berkesan)
<b>FSM</b>	<i>Fuzzy Switching Median Filter</i> (Penapis Median Pensuisan Fuzi)
<b>GF</b>	<i>Gaussian Filter</i> (Penapis Gaussian)
<b>IDE</b>	<i>Integrated Design Environment</i> (Reka bentuk Bersepadu)
<b>LRC</b>	<i>Long Range Correllation Filter</i> (Penapis Korelasi Jarak Panjang)
<b>MAE</b>	<i>Mean Absolut Error</i> (Ralat Min Mutlak)
<b>MBLF</b>	<i>Multiresolution Bilateral</i> (Penapis Dua Hala Multiresolusi)
<b>MF</b>	<i>Standard Mean Filter</i> (Penapis Purata Piawai)
<b>MM</b>	<i>Max/Median Filter</i> (Penapis Maksimum/Median)
<b>MPHM</b>	<i>Dual Sliding Statistics Switching Median filter</i> (Penapis Median Pensuisan Hibrid Mahir)
<b>MPSDG</b>	<i>Adroit Hybrid Switching Median filter</i> (Penapis Median Pensuisan Statistik Dwi-gelongsor)
<b>MSE</b>	<i>Mean Square Error</i> (Ralat Min Kuasa Dua)
<b>MSF</b>	<i>Mean Shift Filter</i> (Penapis Purata Berubah)
<b>MSM</b>	<i>Multi Stage Median</i> (Penapis Median Pelbagai Peringkat)
<b>MSMF</b>	<i>Multi-state Median</i> (Penapis Median Berbilang Keadaan)
<b>MTBC</b>	<i>Efficient Nonparametric Switching Median filter</i> (Penapis Median Pensuisan Tak Berparameter Cepak)
<b>NLM</b>	<i>Non Local Mean</i> (Penapis Purata Bukan Tempatan)
<b>OCS</b>	<i>Open-Close Sequence Filter</i> (Penapis Rangkaian Buka-Tutup)

<b>PBM</b>	<i>Partition Based Median Filter</i> (Penapis Median Berasaskan Bahagian)
<b>PSF</b>	<i>Point Spread Finction</i> (Fungsi Titik Serakan)
<b>PSM</b>	<i>Progressive Switching Median Filter</i> (Penapis Median Pensuisan Progresif)
<b>PSNR</b>	<i>Peak Signal to Noise Ratio</i> (Nisbah Isyarat Puncak kepada Hingar)
<b>PWMAD</b>	<i>Pixel-wise MAD</i> (Penapis MAD Pikel Pintar)
<b>RGB</b>	<i>Red Green Blue</i> (Merah Hijau Biru)
<b>RVI</b>	<i>Random Value Impulse Noise</i> (Hingar Impuls Bernilai Rawak)
<b>SAM</b>	<i>Signal Adaptive Median Filter</i> (Penapis Median Isyarat Adaptif)
<b>SAMF</b>	<i>Simple Adaptive Median Filter</i> (Penapis Median Adaptif Mudah)
<b>SM</b>	<i>Standard Median Filter</i> (Penapis Median Piawai)
<b>SWM-I</b>	<i>Switching Median Filter I</i> (Penapis Median Pensuisan I)
<b>SWM-II</b>	<i>Switching Median Filter II</i> (Penapis Median Pensuisan II)
<b>S&amp;P</b>	<i>Salt and Pepper Noise</i> (Hingar Garam dan Lada)
<b>TEA</b>	<i>Two-stages Efficient Algorithm Filter</i> (Penapis Algoritma Dua Peringkat yang Cepak)
<b>TSM</b>	<i>Tri-state Median Filter</i> (Penapis Median Tiga Keadaan)
<b>WM</b>	<i>Weighted Median Filter</i> (Penapis Median Berpemberat)

## SENARAI SIMBOL

$\delta_k$	Ambang untuk penapis FMEM dan ACWM dalam setiap lelaran
$\eta$	Terma hingar tambahan
$AbsDiff$	Perbezaan mutlak antara $m(i, j)$ dan $x(i, j)$
$AvgD$	Purata perbezaan mutlak untuk jajaran arah sekitar $x(i, j)$
$d_1$	Perbezaan mutlak peringkat pertama
$d_2$	Perbezaan mutlak peringkat kedua
$diffMAD$	Julat perbezaan antara $MAD_{med}$ dan $MAD_{pusat}$
$d_{med}$	Perbezaan mutlak antara semua piksel di dalam tettingkap $W(i, j)$ dengan $P_{med}$
$d_{pusat}$	Perbezaan mutlak antara semua piksel di dalam tettingkap $W(i, j)$ dengan $P_{pusat}$
$f(i, j)$	Perwakilan umum keamatan piksel imej asal dengan amplitud $f$
$F_l / F_2$	Parameter telah ditetapkan untuk penjanaan penanda fuzi dalam penapis TEA
$F_l / F_u$	Parameter telah ditetapkan untuk penjanaan penanda fuzi dalam penapis EDPA
$H$	Fungsi degradasi
$L_D$	Pemboleh ubah saiz tettingkap dalam penapis TEA
$MAD$	Median perbezaan mutlak
$MAD_{med}$	Median perbezaan mutlak set tata susunan $d_{med}$
$MAD_{pusat}$	Median perbezaan mutlak set tata susunan $d_{pusat}$
$m(i, j)$	Piksel median
$M(i, j)$	Topeng hingar binari

$N$	Pemboleh ubah saiz tettingkap penapisan
$N_i$	Bilangan piksel di dalam $W(i, j)$ yang serupa dengan $x(i, j)$
$N_{min}$	Keamatan intensiti minimum
$N_{maks}$	Keamatan intensiti maksimum
$\check{n}_D$	Bilangan lelaran pengesanan dalam penapis PSM
$\check{n}_{max}$	Bilangan lelaran penapisan maksimum dalam penapis DWM
$P_{med}(i, j)$	Piksel median untuk set data di dalam $W(i, j)$ yang disusun
$P_{pusat}(i, j)$	Piksel pusat untuk set data di dalam $W(i, j)$
$r$	Tahap kepadatan atau ketumpatan hingar
$r_{max}$	Bilangan lelaran maksimum untuk penapis FMEM
$s$	Parameter penapisan hingar untuk penapis FMEM dan ACWM
$s_i$	Pemalar bagi menambah baik penanda fuzi dalam penapis EDPA
$T$	Ambang untuk penapis EDPA
$T^1_{MPHM}$	Ambang pengesanan hingar penapis MPHMM dalam mod 1
$T^2_{MPHM}$	Ambang pengesanan hingar penapis MPHMM dalam mod 2
$T_d^{(t)}$	Ambang untuk penapis MPHMM dalam setiap lelaran
$T_1$	Ambang untuk penapis PSM
$T_0$	Ambang permulaan untuk penapis DWM
$T_{SWM-I}$	Ambang untuk penapis SWM-I
$T_{SWM-II}$	Ambang untuk penapis SWM-II
$T^{(t)}_{MPSDG}$	Ambang untuk penapis MPSDG dalam setiap lelaran
$u$	Pemalar untuk proses pengklasifikasian piksel dalam penapis TEA
$w$	Pemberat piksel

$w_c$	Pemberat piksel pusat
$w_m$	Pemberat piksel untuk penapis DWM
$W_D$	Saiz tettingkap pengesanan untuk penapis PSM
$W_F$	Saiz tettingkap penapisan untuk penapis PSM
$W(i, j)$	Tettingkap pengesanan atau tettingkap penapisan
$x(i, j)$	Imej hingar masukan atau piksel pusat di dalam $W(i, j)$
$y(i, j)$	Imej keluaran atau piksel di dalam $W(i, j)$ yang ditapis

**PENDEKATAN BAHARU PENAPIS MEDIAN PENSUISAN UNTUK  
PENGURANGAN HINGAR IMPULS TAHAP RENDAH PADA IMEJ  
DIGITAL**

**ABSTRAK**

Penggunaan informasi visual berasaskan imej digital telah mendapat perhatian yang begitu meluas kerana ciri-cirinya yang fleksibel dan mudah untuk dimanipulasi. Namun, imej digital yang menjadi input asas kepada sesuatu sistem aplikasi sering dicemari oleh hingar. Antara jenis hingar yang lazimnya terdapat pada imej digital ialah hingar impuls. Oleh itu, dua jenis penapis baharu berasaskan skim pensuisan untuk penyingkiran hingar impuls pada imej digital telah diperkenalkan. Kedua-dua penapis ini yang dinamakan sebagai penapis Median Pensuisan Statistik Dwi-gelongsor (*Dual Sliding Statistics Switching Median filter* (MPSDG)) dan penapis Median Pensuisan Hibrid Mahir (*Adroit Hybrid Switching Median filter* (MPHM)) adalah penapis dua-peringkat yang terbahagi kepada peringkat pengesanan hingar serta penapisan hingar. Dalam kaedah MPSDG, pengesanan hingar dilaksanakan terlebih dahulu dengan memproses statistik tettingkap pengesan setempat dalam susunan teratur dan tidak teratur secara serentak. Kemudian, median perbezaan mutlak yang diperolehi daripada statistik kedua-dua tettingkap akan digunakan bagi mengklasifikasikan piksel hingar yang wujud. Seterusnya pada peringkat penapisan, piksel-piksel yang telah diklasifikasikan sebagai hingar akan dipulihkan manakala piksel-piksel bebas hingar akan dikekalkan. Dalam teknik MPHM pula, statistik di dalam tettingkap pengesan setempat akan disusun dalam kedudukan menaik dan perbezaan setiap data dengan nilai median akan dikira. Nilai-nilai perbezaan yang

diperolehi akan diproses pada langkah seterusnya dan nilai ambang akan digunakan bagi membezakan antara piksel hingar dan piksel bebas hingar. Sejurus sahaja selesai proses pengesanan hingar, kesemua piksel hingar akan digantikan dengan satu nilai median anggaran pada peringkat penapisan yang seterusnya. Dengan cara ini, penapis-penapis yang dicadangkan ini bukan sahaja mampu bagi menyingkirkan hingar impuls, malah ia juga mampu mengekalkan struktur dan bentuk objek dalam imej. Hasil daripada keputusan simulasi turut menunjukkan penapis MPSDG dan MPHMM mampu mengatasi penapis-penapis konvensional lain yang wujud dalam kajian ilmiah, baik dari segi penilaian kualitatif mahupun kuantitatif.



# NEW APPROACH OF SWITCHING MEDIAN FILTERS FOR LOW LEVEL IMPULSE NOISE REDUCTION IN DIGITAL IMAGES

## ABSTRACT

The use of digital image-based visual information has gained a lot of attention due to its flexibility and easy to be manipulated. However, digital images that have been used as basic input to an application system are frequently contaminated by noise. One of the most common types of noise found in digital images is impulse noise. Therefore, two new types of filters based on switching scheme are proposed as impulse noise removal. Both filters namely Dual Sliding Statistics Switching Median filter (MPSDG) and Adroit Hybrid Switching Median filter (MPHM) are two-stage filters which consist of noise detection and noise filtering stages. In the MPSDG method, the filtering process begins with noise detection stage; whereby the statistics of a localized detection window of sorted and non-sorted orders are simultaneously processed. Subsequently, the median of absolute difference obtained from the statistics of both windows will be used to classify the existence of the noise pixel. Next in the filtering stage, the pixels that have been classified as noise will be restored while the noise-free pixels will be left unchanged. Meanwhile in the MPHM technique, the statistics in the local window detectors are arranged in ascending order and the difference of each data with the median value will be calculated. Then all of the obtained difference values will be processed in the next steps and threshold values will be used to distinguish between the noise pixels and noise-free pixels. Once the noise detection process is completed, all the noise pixels are replaced with the estimated median value in the next filtering stage. By using these processing

techniques, the proposed filters are not only able to remove the impulse noise, but are also able to maintain the structure and shape of the object in the image. The simulation results also show that the MPSDG and MPHM filters outperform other existing conventional filters in the literature, in terms of qualitative and quantitative assessments.

# BAB 1

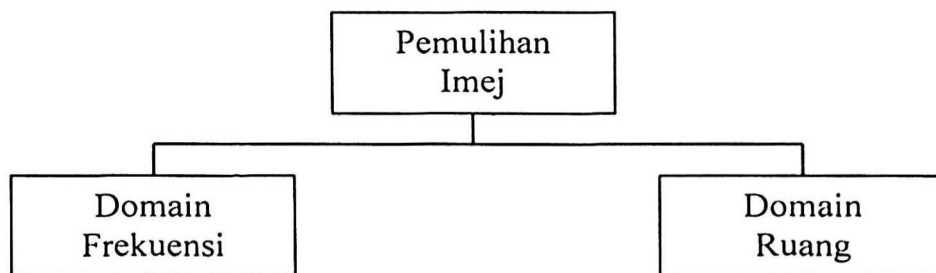
## PENGENALAN

### 1.1 Pendahuluan

Pemrosesan imej digital boleh didefinisikan sebagai suatu bentuk pemrosesan isyarat berangka yang mana inputnya adalah imej dan outputnya pula adalah sama ada terdiri daripada imej ataupun set ciri-ciri yang berkaitan dengan imej. Secara teknikal, ianya adalah proses memanipulasi imej digital yang melibatkan penggunaan algoritma-algoritma komputer bagi memproses data pada imej digital untuk penambahbaikan imej mentah yang diterima dari kamera dan/atau sensor. Pemrosesan imej digital adalah satu bidang yang luas; merangkumi pelbagai aspek seperti fotografi, optik, elektronik, matematik dan teknologi komputer.

Kini, penggunaan sistem pemrosesan imej digital telah berkembang dengan begitu meluas hasil daripada dorongan beberapa aplikasi baharu yang menarik. Antara aplikasi yang amat sinonim dengan sistem pemrosesan imej digital ialah pengimejan geografi (Lee et al., 2008), pengimejan perubatan (Isa et al. 2008; Jusman et al., 2011), sistem penglihatan robot (Kubik & Sugisaka, 2003), pengimejan satelit dan pengecaman objek (Yu et al., 2003; Shotton et al., 2007, 2008). Seiring dengan kepesatan pembangunan teknologi yang semakin canggih, pemrosesan imej digital dijangka akan mengalami pertumbuhan yang luar biasa dan memainkan peranan yang cukup penting pada masa hadapan. Lazimnya, kebanyakan aplikasi teknologi moden tersebut akan turut melibatkan beberapa operasi pemrosesan imej seperti pengesanan pinggir, klasifikasi imej, segmentasi imej dan

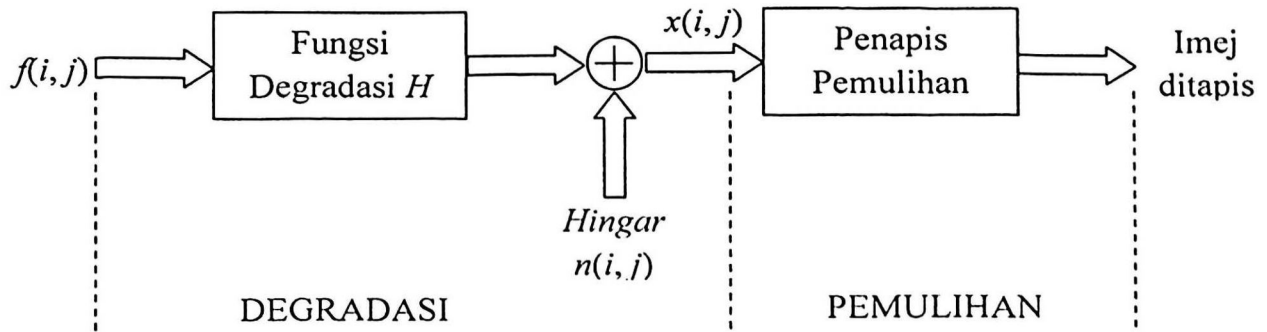
lain-lain yang sangat bergantung kepada kualiti imej yang digunakan. Namun, imej digital yang menjadi input asas kepada sesuatu sistem aplikasi sering dicemari oleh hingar. Pada dasarnya, kehadiran hingar dalam imej digital boleh mengganggu sesuatu sistem aplikasi pemprosesan imej kerana hingar akan mengubah atau merosakkan data asal yang terkandung dalam imej. Justeru, proses pemulihan imej perlu dilakukan bagi memastikan keberkesanan sesuatu sistem aplikasi pemprosesan imej dapat dicapai dengan prestasi yang terbaik. Pemulihan imej membawa maksud penyingkiran hingar atau pengurangan degradasi imej yang disebabkan oleh gangguan isyarat semasa proses pemerolehan, penghantaran atau penyimpanan imej. Pemulihan imej boleh dikategorikan kepada domain frekuensi dan domain ruang seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1. Proses pemulihan imej dengan menggunakan kaedah domain frekuensi memerlukan transformasi imej digital daripada domain ruang kepada domain frekuensi terlebih dahulu sebelum ia diproses. Manakala dalam domain ruang pula, proses pemulihan imej dapat dilaksanakan terus kepada piksel.



Rajah 1.1: Domain kaedah pemulihan imej.

Dalam usaha bagi mengurangkan kerumitan proses pemulihan imej, rangka kerja penyelidikan ini telah dihadkan hanya kepada bahagian pemulihan imej dengan menggunakan kaedah domain ruang

## 1.2 Penyingkiran Hingar Imej Digital



Rajah 1.2: Gambar rajah blok mewakili proses degradasi dan pemulihan imej berdasarkan Gonzalez & Woods (2002).

Rajah 1.2 menunjukkan proses degradasi yang dimodelkan sebagai satu fungsi degradasi  $H$  bersama-sama hingar tambahan  $\eta(i, j)$  beroperasi pada imej input  $f(i, j)$  bagi menghasilkan imej yang terdegradasi  $x(i, j)$ . Objektif pemulihan imej adalah bagi mendapatkan anggaran imej ditapis yang menyerupai imej asal  $f(i, j)$  dengan menggunakan  $x(i, j)$  dan beberapa informasi berkenaan  $\eta(i, j)$ . Dalam kajian ini,  $H$  yang sering dirujuk sebagai fungsi titik serakan (*point spread function* (PSF)) yang boleh menyebabkan terjadinya masalah kekaburan dianggap sebagai operator identiti dan kerja-kerja penyelidikan hanya ditumpukan kepada degradasi yang disebabkan oleh hingar  $\eta(i, j)$  sahaja. Antara cara yang paling berkesan dan mudah bagi mengurangkan kesan degradasi hingar dalam imej digital adalah dengan menggunakan algoritma-algoritma pengkomputeran.

Secara amnya, terdapat pelbagai jenis hingar yang sering diguna pakai dalam kajian-kajian bidang pemprosesan imej. Hingar-hingar ini boleh dikategorikan kepada dua kategori utama. Kategori yang pertama ialah hingar tambahan (additive noise). Dalam imej digital, hingar tambahan ini dimodelkan sebagai hingar *Gaussian* (*Gaussian noise*) dan hingar pengkuantuman (*quantization noise*). Lazimnya, hingar

tambahan seperti hingar Gaussian ini terhasil semasa proses perolehan imej (Garnett et al., 2005). Terdapat pelbagai penapis yang telah direka sebelum ini untuk tugas-tugas penyingkiran hingar tambahan dan kebanyakannya adalah penapis yang berasaskan purata. Antara penapis-penapis yang terkenal dalam bahagian penyingkiran hingar tambahan ini adalah seperti penapis Dua Hala (*Bilateral* (BLF)) (Tomasi & Manduchi, 1998), penapis Dua Hala Multiresolusi (*Multiresolution Bilateral* (MBLF)) (Zhang & Gunturk, 2008) dan penapis Purata Bukan Tempatan (*Non Local Mean* (NLM)) (Buades et al., 2005). Pada dasarnya, penapis-penapis hingar tambahan yang dinyatakan tersebut akan menggantikan setiap piksel dalam imej dengan satu nilai intensiti purata atau purata berpemberat berdasarkan kiraan piksel pusat dan piksel-piksel di sekelilingnya.

Satu lagi kategori hingar yang biasa terdapat dalam imej digital adalah hingar impuls (*impulse noise*). Hingar jenis ini sering mendapat perhatian yang meluas dalam kebanyakan penyelidikan kerana piksel yang dicemari oleh hingar impuls biasanya mempunyai kontras yang sangat tinggi berbanding piksel-piksel sekitarnya dan kehadirannya akan memberikan kesan degradasi yang ketara kepada kualiti imej (Wang & Lin, 1997a; Petrou & Bosdogianni, 2000; Deng et al., 2007). Secara amnya, hingar impuls boleh dikategorikan kepada dua jenis iaitu hingar impuls bernilai rawak (*random value impulse* (RVI)) dan hingar garam dan lada (*salt & pepper* (S&P)). Punca hingar impuls kemungkinan besar adalah disebabkan oleh ralat yang terjadi semasa proses penghantaran dalam talian dan kerosakan lokasi memori dalam perkakasan (Chan et al., 2005; Ramaraj & Kamaraj, 2010; Toh & Isa, 2010a). Untuk tujuan penapisan hingar impuls, penapis bukan linear boleh dianggap sebagai penapis yang efektif dan lebih baik berbanding penapis linear (Astola & Kuosmanen, (1997); Ng & Ma, 2006). Salah satu kaedah penapisan bukan linear

yang paling popular dan sering digunakan bagi mengurangkan kesan hingar impuls dalam imej adalah penapis berasaskan median. Ini adalah kerana, penapis berasaskan median mempunyai keseimbangan yang baik dari segi penyingkiran hingar dan pemuliharaan pinggir/butiran asal imej (Aizenberg, 2004). Antara contoh-contoh penapis berasaskan median yang terawal adalah seperti penapis Median Piawai (*Standard Median (SM)*) (Pratt (1975), penapis Median Berpemberat (*Weighted Median (WM)*) (Brownrigg, 1984) dan penapis Median Pusat Berpemberat (*Center Weighted Median (CWM)*) (Ko & Lee, 1991). Secara ringkasnya, penapis median ini akan mengeksploitasi maklumat kedudukan susunan intensiti piksel-piksel di dalam tettingkap penapisan dan menggantikan piksel pusat dengan nilai median piksel-piksel di dalam tettingkap tersebut.

### **1.3 Pernyataan Masalah**

Walaupun penapis SM dan variasi-variasinya yang lain seperti penapis WM dan penapis CWM dilihat ideal untuk kerja-kerja penapisan hingar impuls, namun satu masalah dengan penapis-penapis ini adalah dalam kebanyakan keadaan ia cenderung bagi turut menyingkirkan perincian yang diinginkan ataupun mengekalkan hingar impuls yang terlalu banyak (Chen & Wu, 2001c). Masalah tersebut terjadi kerana penapis tersebut gagal membezakan antara piksel hingar dan piksel bebas hingar semasa proses penapisan dilakukan. Bagi mengatasi masalah tersebut, mekanisme pensuisan (iaitu pembuat keputusan) telah digabungkan ke dalam rangka kerja penapis median, seperti yang dicadangkan oleh Sun & Neuvo (1994). Dengan menggunakan teknik seperti ini, penapis median pensuisan telah menunjukkan peningkatan kualiti penapisan hingar dan pemuliharaan perincian imej yang agak

ketara jika dibandingkan dengan penapis median konvensional tanpa konsep pensuisan.

Oleh kerana keberkesanannya, evolusi dalam penyelidikan penapis median pensuisan terus berkembang pesat dari masa ke semasa dengan ramai penyelidik telah mula memberikan tumpuan bagi menghasilkan penapis yang berupaya menapis hingar impuls pada kadar ketumpatan yang tinggi. Sehingga kini, terdapat pelbagai penapis berasaskan median pensuisan telah dihasilkan dan ada di antara penapis-penapis tersebut yang mampu menapis hingar impuls sehingga 60% tahap ketumpatan hingar. Contohnya adalah seperti penapis Median Berpemberat Terarah (*Directional Weighted Median* (DWM)) (Dong & Xu, 2007) dan penapis Median Pengurangan Fungsi yang Berkesan (*Functional Minimization Effective Median* (FMEM)) (Zhang, 2010).

Walaupun kebanyakan artikel penyelidikan yang diterbitkan sebelum ini adalah tertumpu pada kes tahap pencemaran hingar yang tinggi (contohnya seperti penapis-penapis DWM dan FMEM), namun fokus penyelidikan seperti itu kelihatan tidak begitu relevan lagi untuk situasi masa kini. Ini adalah kerana selaras dengan kemajuan dalam teknologi pengimejan digital, tahap ketumpatan hingar impuls dalam imej digital kebelakangan ini telah menurun dengan ketara hingga ke tahap yang boleh dianggap sebagai kadar pencemaran hingar rendah (iaitu ketumpatan hingar yang kurang daripada 30%) (Toh & Isa, 2010b). Sebagai contoh, pada masa kini produk pengimejan seperti kamera CCTV (Closed-circuit television) tidak lagi terjejas oleh masalah tahap pencemaran hingar yang tinggi.

Oleh itu, dengan berpandukan kepada huraian di atas matlamat penyelidikan ini telah difokuskan kepada usaha-usaha bagi menghasilkan algoritma penapisan



median pensuisan untuk kes pencemaran hingar impuls tahap rendah yang mampu memberikan kualiti penapisan hingar yang lebih baik berbanding penapis-penapis median pensuisan yang sedia ada; tidak kira dari segi kualitatif mahupun kuantitatif. Penyelidikan dalam penapisan hingar tahap rendah juga adalah lebih menarik kerana kes ini khususnya memerlukan mekanisme pengesanan hingar yang lebih tepat (Aizenberg, 2004).

#### **1.4 Objektif Penyelidikan**

Berdasarkan pernyataan masalah yang diberikan dalam subseksyen sebelum ini, maka objektif penyelidikan ini adalah ditetapkan seperti berikut:

1. Menghasilkan satu kaedah penapisan median pensuisan bagi menghilangkan kesan hingar impuls bernilai rawak tahap rendah (iaitu kes ketumpatan hingar yang kurang daripada 30%) dalam imej digital.
2. Merekabentuk satu penapis median pensuisan bagi menyingkirkan hingar impuls bernilai rawak tahap amat rendah (iaitu kes ketumpatan hingar yang tidak lebih daripada 15%) dan pada masa yang sama mampu memelihara struktur serta butiran asal sesuatu imej input.

Kedua-dua penapis yang dicadangkan di atas akan direka dengan mengambil kira keseimbangan antara kecekapan penapisan dan kepantasan masa pemprosesan yang munasabah.

## 1.5 Skop Penyelidikan

Skop penyelidikan ini adalah terhadap kepada reka bentuk dan pembangunan algoritma penapisan hingar. Ia bermula dengan kajian ilmiah yang dilakukan terhadap pelbagai kaedah penapisan konvensional sedia ada dalam usaha mengetahui kelebihan dan kekurangan yang wujud dalam setiap kaedah tersebut. Kemudian, penyelidikan ini akan mencadangkan kaedah penapisan hingar yang baharu bagi mengatasi kelemahan yang telah dikenal pasti. Dalam penghasilan algoritma pemulihan imej oleh penyelidikan ini, perhatian khusus diberikan hanya kepada proses penapisan hingar impuls bernilai rawak (*random value impulse noise*) dalam imej digital skala kelabu sahaja. Tujuan fokus ini dihadkan hanya kepada imej digital skala kelabu adalah bagi memberi tumpuan kepada kerja-kerja membangunkan asas penapis hingar yang memuaskan terlebih dahulu sebelum rangka kerja tersebut dapat digunakan untuk pembangunan mekanisme penapisan selanjutnya yang merangkumi pelbagai jenis imej seperti imej berwarna dan imej perubatan. Sebanyak seratus imej ujian piawai telah digunakan dalam siri ujian simulasi yang dijalankan. Kesemua imej ini dimuat turun dari pelbagai sumber pangkalan data dalam internet<sup>1</sup>.

Akhir sekali, semua algoritma-algoritma yang dicadangkan, bersama-sama dengan pelbagai kaedah penapisan hingar konvensional lain akan dilaksanakan dalam bahasa pengaturcaraan C/C++ menggunakan perisian Code::Block v8.02 integrated design environment software (IDE) dan disusun menggunakan penyusun kod Borland C++ v.5.5.

---

<sup>1</sup> <http://decsai.ugr.es/cvg/CG/base.htm>  
<http://sipi.usc.edu/database/database.php>  
<http://r0k.us/graphics/kodak/index.html>

## 1.6 Garis Panduan Tesis

Keseluruhannya, tesis ini terbahagi kepada 5 bab. Sepintas lalu, perbincangan dalam Bab 1 dimulakan dengan pengenalan ringkas berkenaan imej digital dan aplikasinya. Ini termasuklah perbincangan ringkas mengenai beberapa jenis hingar biasa dalam imej digital dan teknik-teknik pemulihannya. Kemudian, objektif penyelidikan turut diperjelaskan sebagai panduan skop kerja yang dijalankan. Akhir sekali, bab ini diakhiri dengan garis panduan tesis.

Keseluruhan Bab 2 pula adalah khusus untuk kaji selidik umum tentang penapis hingar impuls sedia ada. Pembangunan penapis hingar impuls konvensional yang ditandai dengan peningkatan kecanggihan pendekatan yang digunakan telah dikaji untuk pengenalpastian mekanisme penapisan mereka. Had batasan dan kelemahan penapis-penapis hingar tersebut turut dibincangkan. Penapis-penapis hingar ini akan digunakan sebagai perbandingan dengan kaedah penapisan yang dicadangkan.

Perbincangan dalam Bab 3 pula adalah menjurus kepada kaedah penapisan hingar impuls yang dicadangkan. Sebanyak dua jenis penapis baharu hingar impuls bernilai rawak telah dicadangkan dan ia akan bertindak sebagai teras kandungan dalam bab ini. Perincian mengenai langkah-langkah pelaksanaan dan penerangan lanjut berkenaan dua kaedah penapisan yang dicadangkan ini kemudiannya turut dibentangkan. Bahagian akhir bab ini juga turut menyentuh tentang pemilihan imej ujian yang sesuai bagi menilai prestasi penapis-penapis hingar yang dicadangkan.

Seterusnya dalam Bab 4, keputusan dan perbincangan berkenaan imej keluaran yang diperoleh daripada kaedah penapisan yang dicadangkan dan beberapa kaedah penapisan konvensional lain akan dibentangkan. Semua keputusan

dibincangkan, diterangkan dan dibandingkan secara kualitatif serta kuantitatif dalam usaha bagi menilai prestasi setiap jenis penapis yang telah dijalankan.

Akhir sekali, Bab 5 akan merumuskan dan membuat kesimpulan mengenai keseluruhan projek yang telah dijalankan. Selain itu, cadangan masa hadapan serta ruang penambahbaikan kepada penapis hingar yang dicadangkan juga turut dimasukkan dalam bab terakhir ini.

## BAB 2

### KAJIAN ILMIAH

#### 2.1 Pendahuluan

Secara asasnya, degradasi yang diakibatkan oleh hingar akan menghasilkan bentuk penampilan imej yang mempunyai kualiti visual yang rendah dan tidak menarik. Seperti apa yang telah dinyatakan dalam bab sebelum ini, kebiasaannya proses pemulihan imej digunakan pada imej-imej digital yang telah terdegredasi dengan tujuan bagi mendapatkan kembali informasi atau perincian asal dari imej tersebut. Aplikasi-aplikasi moden pada masa kini menuntut sesuatu algoritma pemulihan imej supaya bukan sahaja boleh menghilangkan kesan hingar, malah pada masa yang sama mampu mengekalkan tekstur asal imej. Dua matlamat yang saling bercanggah ini telah membawa kepada penghasilan pelbagai kaedah penapisan hingar. Selama bertahun-tahun, masih terdapat keperluan bagi memajukan algoritma-algoritma pemulihan imej; sama ada dengan cara mencadangkan pendekatan yang baharu ataupun dengan menambah baik kecekapan kaedah-kaedah pemulihan imej sedia ada.

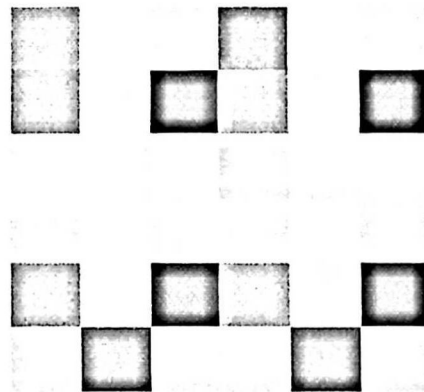
#### 2.2 Imej Digital dan Hingar

Sebelum perbincangan lanjut mengenai kaedah-kaedah penapisan hingar impuls konvensional dilakukan, terlebih dahulu serba-sedikit penerangan tentang konsep imej digital dan model hingar impuls akan diberikan sebagai permulaan bab ini.

### 2.2.1 Perwakilan Imej Digital

Secara umum, imej terbahagi kepada dua jenis iaitu imej digital dan juga imej analog. Kebiasaannya, imej analog tidak boleh dianalisis secara terus menggunakan komputer kerana proses pengkomputeran bekerja dengan data digital dan bukannya analog. Oleh itu, sesuatu imej perlulah terlebih dahulu ditukarkan bentuknya kepada bentuk perwakilan digital sebelum ia boleh diproses atau dianalisis oleh komputer. Proses mendigitalkan imej ini dinamakan 'pendigitan'.

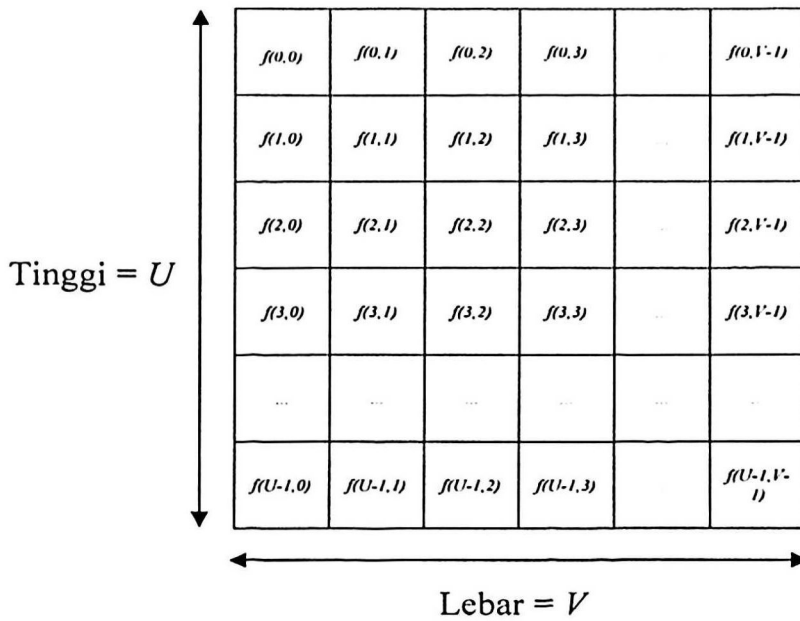
Secara ringkasnya, imej digital dapat dibayangkan sebagai sekeping gambar yang dibahagikan kepada beberapa bahagian segi empat kecil, misalnya 6 bahagian kecil secara menegak dan 6 bahagian kecil secara mendatar (lihat Rajah 2.1).



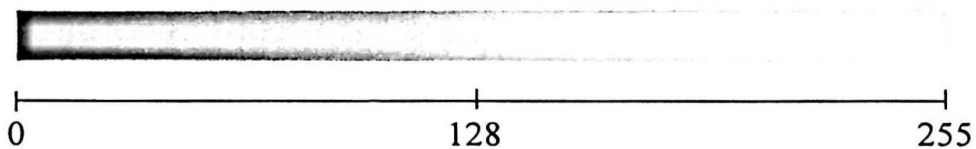
Rajah 2.1: Gambar dibahagikan kepada 6×6 bahagian kecil.

Dalam istilah pengimejan digital, setiap bahagian segiempat kecil tersebut dikenali sebagai piksel yang berasal daripada satu perkataan bahasa Inggeris iaitu '*pixel*' ataupun '*picture element*'. Pada lokasi setiap piksel inilah kecerahan sesuatu imej disampel dan dikuantumkan. Langkah ini akan menghasilkan integer (iaitu nombor bulat yang bertanda) yang mewakili kecerahan atau kegelapan imej pada lokasi piksel berkenaan. Kecerahan dan kegelapan imej juga sering dirujuk sebagai intensiti atau aras kelabu. Secara umum, susunan secara teratur dalam bentuk dua-

dimensi setiap piksel yang mempunyai nilai integer ini adalah dirujuk sebagai imej digital (Gonzalez & Woods, 2002). Oleh itu, imej digital boleh diterjemahkan dalam bentuk perwakilan satu matriks yang mempunyai koordinat dan magnitud seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.



Rajah 2.2: Imej digital bersaiz  $U \times V$



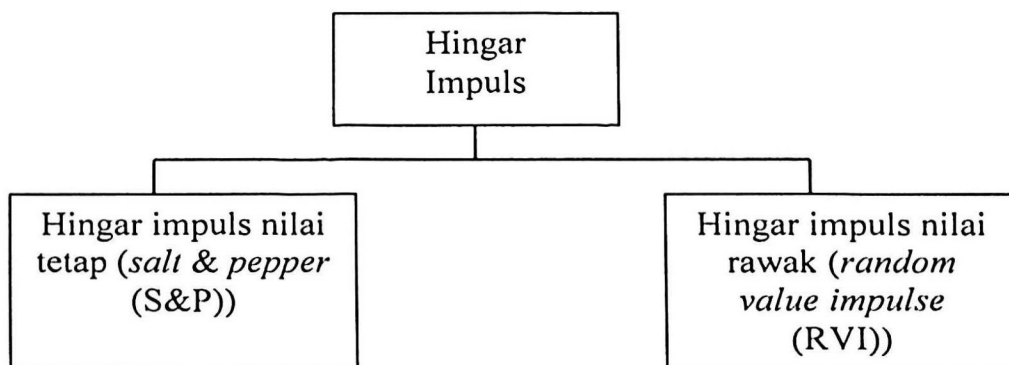
Rajah 2.3: 256 aras kelabu dalam imej skala kelabu 8-bit.

Dalam tesis ini, imej digital akan ditakrifkan sebagai fungsi dua-dimensi  $f(i, j)$ , di mana  $i$  dan  $j$  adalah koordinat, manakala  $f$  ialah nilai intensiti pada koordinat  $(i, j)$  imej tersebut. Dalam imej skala kelabu, semua komponen merah, hijau dan biru pada setiap piksel hanya diwakili oleh satu sampel warna tunggal yang membawa maklumat intensiti. Selalunya, intensiti skala kelabu ini disimpan sebagai integer 8-bit yang memberikan 256 kesan warna berbeza; bermula dari hitam pada intensiti

yang paling rendah kepada putih pada intensiti yang tertinggi. Secara ringkasnya, intensiti imej skala kelabu ini boleh juga diwakili oleh selang integer  $[0, 255]$ , seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.3.

### 2.2.2 Model Hingar Impuls

Imej digital biasanya terdedah kepada pelbagai jenis pencemaran hingar semasa proses perolehan dan/atau penghantaran imej yang disebabkan oleh beberapa masalah ataupun ketidaksempurnaan dalam sensor imej dan saluran komunikasi. Hingar ditakrifkan sebagai suatu syarat yang tidak diingini dan kehadirannya akan merosakkan kualiti imej.



Rajah 2.4: Jenis-jenis hingar impuls.

Secara amnya, berdasarkan taburan hingar dalam histogram imej, hingar impuls boleh dikategorikan kepada dua jenis; iaitu hingar impuls bernilai rawak dan hingar impuls bernilai tetap (rujuk Rajah 2.4). Model hingar impuls bernilai rawak (*random value impulse* (RVI)) juga dikenali sebagai hingar impuls seragam, manakala model hingar impuls bernilai tetap pula adalah sering dirujuk sebagai hingar garam dan lada (*salt & pepper* (S&P)). Contoh kedua-dua jenis hingar ini masing-masing adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5 (b) dan (c) (Toh,



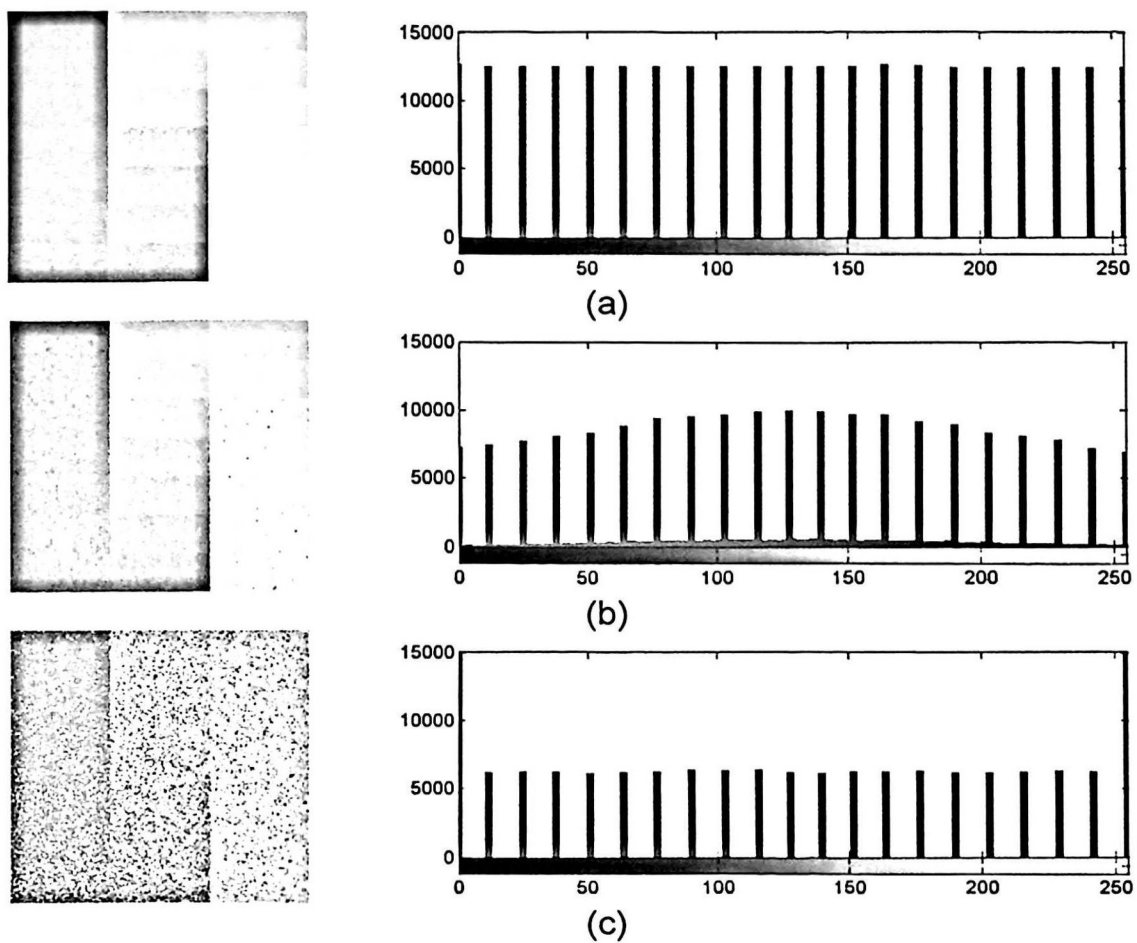
2012). Pertimbangkan  $f(i, j)$  dan  $x(i, j)$  masing-masing adalah tahap kelabu ataupun intensiti imej asal dan imej hingar di lokasi  $(i, j)$ . Hingar impuls yang terjadi dengan kepadatan hingar  $r$  boleh ditakrifkan sebagai:

$$x(i, j) = \begin{cases} n(i, j) & : \text{dengan kebarangkalian } r \\ f(i, j) & : \text{dengan kebarangkalian } 1 - r \end{cases} \quad (2.1)$$

di mana  $n(i, j)$  adalah nilai intensiti piksel hingar. Sesuatu imej itu dirosakkan oleh hingar impuls bernilai rawak apabila  $n(i, j)$  diagihkan secara seragam dalam julat dinamik imej, iaitu  $n(i, j) \in [N_{min}, N_{maks}]$ . Sebagai contoh, dalam imej 8-bit skala kelabu dengan 256 tahap kelabu,  $n(i, j)$  hingar impuls bernilai rawak boleh terdiri daripada 0 ( $N_{min}$ ) hingga 255 ( $N_{maks}$ ). Sementara itu, untuk hingar garam dan lada pula;  $n(i, j)$  diandaikan berada pada keamatan intensiti minimum dan maksimum, iaitu  $n(i, j) \in (N_{min}, N_{maks})$  (Hsieh & Huang, 2009).

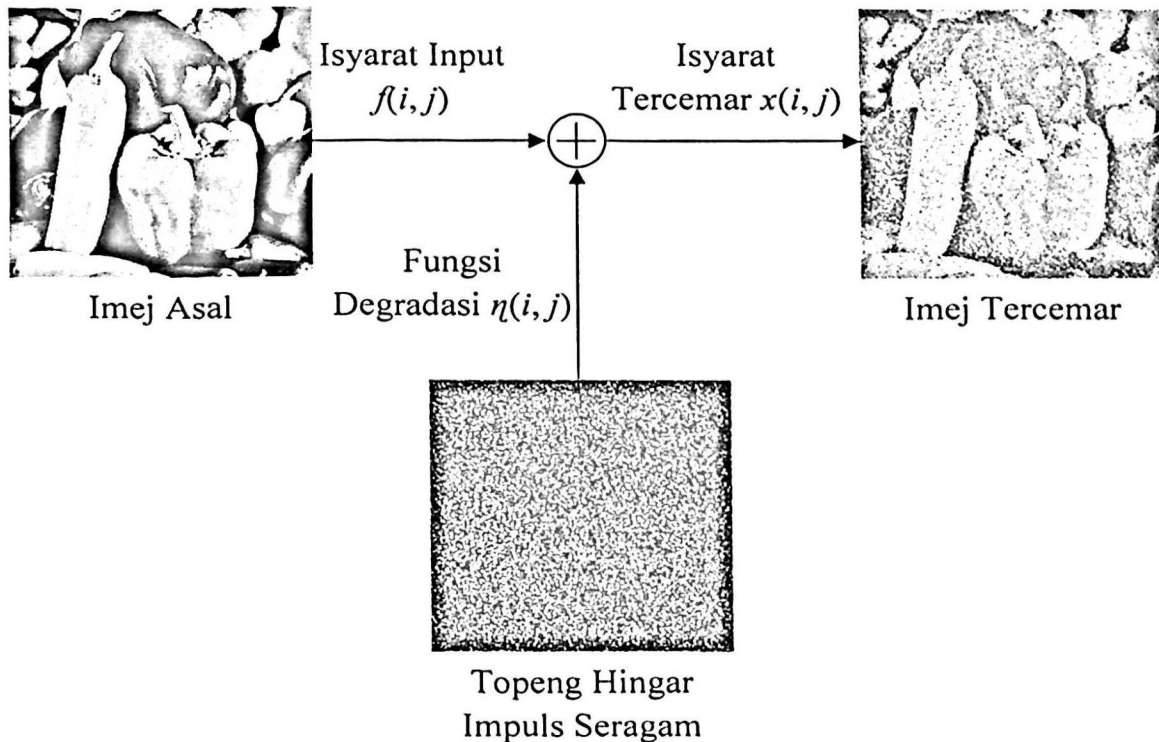
Walaupun ramai penyelidik telah memberi banyak penekanan bagi menghasilkan penapis yang baik untuk proses penyingkiran hingar *garam dan lada* (iaitu bentuk hingar impuls yang paling mudah) seperti penapis Algoritma Berasaskan Keputusan (*Decision-Based Algorithm* (DBA)) (Srinivasan & Ebenezer, (2007), penapis Median Adaptif Mudah (*Simple Adaptive Median* (SAMF)) (Ibrahim et al., 2008) dan penapis Median Pensuisan Fuzi (*Fuzzy Switching Median* (FSM)) (Toh et al., 2008); namun penyelidikan ini telah mengambil satu langkah ke hadapan dengan memberi tumpuan kepada pengesanan dan penyingkiran hingar impuls bernilai rawak. Secara praktikal, proses mengenal pasti hingar impuls bernilai rawak adalah lebih mencabar jika dibandingkan dengan proses pengesanan hingar garam dan lada kerana keamatan piksel hingar jenis ini hampir serupa kepada keamatan

piksel sekelilingnya. Perbezaan antara bentuk hingar impuls RVI dan S&P boleh dilihat pada histogram imej dalam Rajah 2.5.



Rajah 2.5: (a) Imej ujian asal dan histogramnya, (b) Imej ujian yang dicemari oleh hingar impuls bernilai rawak (RVI) dan histogramnya dan (c) Imej ujian yang dicemari oleh hingar impuls garam dan lada (S&P) dan histogramnya.

Dalam rangka kerja penyelidikan ini, imej hingar tiruan yang tercemar dengan hingar impuls bernilai rawak akan dijana supaya menyerupai proses dalam dunia sebenar di mana hingar impuls secara rawak akan mengubah piksel asal imej tersebut. Proses penghasilan imej hingar ini digambarkan dalam Rajah 2.6.



Rajah 2.6: Proses penjanaan imej yang tercemar oleh hingar impuls bernilai rawak.

### 2.3 Penyingkiran Hingar Impuls

Pemulihan imej yang tergedasi oleh hingar adalah penting dan perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum apa-apa tugas pemprosesan imej lain seperti pengesanan tebing dan segmentasi imej dijalankan kerana kehadiran hingar walaupun dalam kadar yang rendah boleh merosakkan maklumat yang terkandung dalam imej asal (Suid & Isa, 2012). Berdasarkan hakikat itu, pelbagai algoritma penapisan hingar telah dimajukan dalam banyak penyelidikan-penyelidikan sebelum ini. Seterusnya, bab ini akan membincangkan secara ringkas berkenaan evolusi dalam penciptaan penapis bermula daripada kaedah penapisan yang paling tipikal hinggalah kepada kaedah penapisan yang agak kompleks.

### 2.3.1 Penapis Hingar

Umumnya, penapis hingar adalah terbahagi kepada dua kategori utama. Kategori yang pertama ialah penapis linear. Output penapis linear adalah berkadar terus dengan nilai intensiti kesemua piksel yang terdapat di dalam tettingkap penapisan. Antara contoh penapis linear paling mudah ialah penapis Purata Piawai (*Standard Mean* (MF)). Penapis MF ini akan menggantikan setiap piksel dalam imej dengan satu nilai intensiti purata yang dikira berdasarkan piksel-piksel di dalam tettingkap penapisan tempatan. Selain itu, terdapat juga penapis linear yang menggunakan konsep purata berpemberat seperti penapis Gaussian (GF) dan Binomial (*Binomial* (BF)) (Jahne, 1995). Melalui konsep ini, pemberat akan diberikan kepada piksel-piksel tertentu di dalam tettingkap penapisan bagi mengawal keseimbangan antara penyingkiran hingar dan pemuliharaan pinggir. Pemberat merujuk kepada pengulangan sesuatu piksel sebanyak beberapa kali dalam set data imej yang asal. Dengan cara ini, kedua-dua penapis GF dan penapis BF mampu menghasilkan kualiti imej yang lebih jelas dan mempunyai keupayaan pemuliharaan pinggir yang lebih baik berbanding penapis MF yang biasa.

Satu lagi kategori penapis yang utama ialah penapis bukan linear. Selain daripada penapis-penapis linear berasaskan purata, terdapat juga beberapa penapis berasaskan purata lain yang tergolong dalam kategori penapis bukan linear seperti penapis Dua Hala (*Bilateral filter* (BLF)) (Tomasi & Manduchi, 1998) dan penapis Purata Berubah (Mean Shift filter (MSF)) (Comaniciu & Meer, 2002). Penapis-penapis purata bukan linear lazimnya mempunyai output yang lebih selektif. Sebagai contoh, output untuk penapis MSF adalah dikira berdasarkan nilai mod piksel dalam tettingkap tempatan, manakala untuk penapis BF pula, sesuatu piksel akan digantikan

oleh nilai purata berpemberat yang dikira berdasarkan informasi ruang dan fotometri piksel-piksel di dalam tettingkap penapisan. Secara amnya, prestasi kedua-dua penapis ini adalah lebih baik jika dibandingkan dengan penapis-penapis berasaskan purata dalam kategori linear. Namun, penggunaan nilai purata dalam proses pemulihan piksel masih lagi akan menyebabkan sesuatu imej itu mengalami masalah kekaburan yang serius dan didapati kurang berkesan untuk proses penapisan hingar impuls (Garnet et al., 2005; Ng & Ma, 2006). Ini adalah kerana, dari sudut statistik, kewujudan data terpencil yang melampau seperti hingar impuls ke dalam sesuatu set data akan menjejaskan nilai purata dengan ketara (Fisher et al., 2004).

Oleh itu, salah satu penyelesaian yang ideal bagi mengatasi masalah tersebut ialah dengan menggunakan penapis berasaskan median. Antara contoh penapis bukan linear berasaskan median yang terawal dan sering digunakan bagi menapis hingar impuls ialah seperti penapis Median Piawai (*Standard Median (SM)*) (Pratt (1975)). Secara ringkasnya, penapis SM ini mempunyai kerangka penapisan yang sama seperti penapis linear, namun output penapis ini adalah dikira berdasarkan nilai median dan bukannya purata. Penapis berasaskan median ini dapat menghasilkan kualiti imej ditapis yang lebih jelas dan mempunyai keupayaan pemuliharaan pinggir yang lebih baik berbanding penapis-penapis berasaskan purata. Perbandingan prestasi antara penapis-penapis berasaskan purata dan median ini dapat dirujuk pada Jadual 2.1. Penilaian yang dibuat adalah perbandingan penulis berdasarkan tinjauan bacaan yang dibuat. Daripada Jadual 2.1, terma 'baik' merujuk kepada paling berkesan, terma 'sederhana' merujuk kepada agak berkesan, manakala terma 'kurang memuaskan' merujuk kepada tidak berkesan. Berdasarkan penilaian yang dibuat pada Jadual 2.1, didapati penapis bukan linear berasaskan median, SM adalah lebih baik berbanding penapis linear dan penapis bukan linear berasaskan purata.

Jadual 2.1: Perbandingan prestasi pemulihan imej oleh penapis-penapis berasaskan purata dan median.

Penapis	Kemudahan Pelaksanaan	Pemuliharaan Pinggir
MF	1	3
GF	2	3
BF	2	3
BLF	3	2
MSF	3	2
SM	1	1

Catatan: Skala [1]-[3] mewakili [1] Baik, [2] Sederhana dan [3] Kurang Memuaskan.

### 2.3.2 Penapis Median Konvensional

Dalam beberapa dekad yang lalu, penapis berasaskan median telah menarik perhatian kebanyakan penyelidik kerana kemudahan pelaksanaan dan keupayaannya dalam pemuliharaan pinggir objek imej (Wang & Zhang, 1999). Salah satu penapis berasaskan median ialah penapis SM yang dinyatakan dalam subseksyen sebelum ini. Penapis ini akan menilai maklumat kedudukan susunan intensiti piksel-piksel di dalam tettingkap penapisan dan menggantikan piksel pusat di dalam tettingkap tersebut dengan nilai median anggaran  $m(i, j)$ . Operasi penapisan penapis SM dengan menggunakan tettingkap penapisan bersaiz  $(2N+1) \times (2N+1)$  yang berpusat di  $x(i, j)$  boleh digambarkan sebagai:

$$y(i, j) = m(i, j) = \text{med}\{x(i - N, j - N), \dots, x(i, j), \dots, x(i + N, j + N)\} \quad (2.2)$$

di mana  $x(i, j)$  dan  $y(i, j)$  masing-masing adalah nilai piksel pada kedudukan  $(i, j)$  dalam imej yang tercemar oleh hingar dan imej yang ditapis. Walaupun penggunaan penapis SM berkesan dalam kerja-kerja penapisan hingar impuls, namun ia juga cenderung bagi turut menyingkirkan butir-butir garisan halus dan bahagian penjuru

semasa menapis hingar. Sebagai respons kepada masalah tersebut beberapa variasi lain penapis median kemudiannya telah diperkenalkan. Contohnya adalah seperti penapis Maksimum/Median (*Max/Median* (MM)) (Arce & McLoughlin, 1987) dan penapis Median Pelbagai Peringkat (*Multi Stage Median* (MSM)) (Nieminen et al., 1987) yang direka khusus untuk pemuliharaan perincian imej. Kedua-dua penapis ini berupaya mengekalkan butiran-butiran imej dengan lebih baik, namun terdapat kekangan dari segi penyingkiran hingar.

Seterusnya, pelbagai penapis hasil daripada pengubahsuaian SM telah diperkenalkan. Antaranya ialah penapis Median Adaptif (*Adaptive Median* (AM)) (Lin & Willson, 1988) dan penapis Median Isyarat Adaptif (*Signal Adaptive Median* (SAM)) (Bernstein, 1987). Penapis median dalam kelas adaptif ini akan menyesuaikan saiz tettingkap penapisan berdasarkan keadaan input yang diproses bagi mengimbangi antara pemuliharaan perincian dan penyingkiran hingar. Namun, sama seperti penapis median yang biasa, penapis median jenis adaptif ini masih cenderung membuang butiran-butiran imej kerana outputnya juga diperolehi berdasarkan pengiraan penapisan median (Ko & Lee, 1991).

Satu lagi cabang dalam penapis berasaskan median ialah penapis yang berkonsepkan pemberat seperti Median Berpemberat (*Weighted Median* (WM)) (Brownrigg, 1984), penapis Median Berpemberat Adaptif (*Adaptive Weighted Median* (AWM)) (Loupas et al., 1989) dan penapis Median Pusat Berpemberat (*Center Weighted Median* (CWM)) (Ko & Lee, 1991). Penapis jenis ini akan memberikan lebih pemberat kepada beberapa nilai piksel di dalam tettingkap penapisan dan tahap kawalan antara penyingkiran hingar dan pemuliharaan perinciannya boleh dikawal melalui pemberat yang boleh dilaraskan.

Walaupun penapis berasaskan median berupaya mengurangkan kesan degradasi hingar impuls, malangnya penapis median konvensional tersebut dilaksanakan kepada semua piksel dalam imej tanpa mengambil kira status sesuatu piksel tersebut sama ada ia adalah bebas hingar atau sebaliknya (sebagai contoh, penapis SM, WM dan AM yang dibincangkan sebelum ini). Modus operandi yang agak cuai seperti ini hanya akan menyebabkan piksel-piksel bebas hingar turut sama ditapis dan mengakibatkan penghapusan perincian yang halus seperti garisan halus serta bucu objek (Luo, 2006a). Masalah ini sekali gus menyumbang kepada berlakunya kemerosotan kepada kualiti imej yang ditapis.

Satu kaedah penyelesaian yang efektif bagi mengatasi kelemahan yang dinyatakan di atas adalah dengan melaksanakan mekanisme pengesanan hingar impuls terlebih dahulu sebelum proses penapisan hingar dilakukan (Ibrahim et al., 2008). Oleh itu, hanya piksel yang telah diklasifikasikan sebagai hingar sahaja akan menjalani proses penapisan, manakala piksel yang diklasifikasikan sebagai bebas hingar akan terus dikekalkan seperti sedia ada. Gabungan pengesanan hingar ke dalam rangka kerja penapis median juga turut dikenali sebagai teknik penapisan median pensuisan (*switching median filtering*). Perbandingan prestasi antara penapis-penapis berasaskan median ini boleh dirujuk pada Jadual 2.2.

Jadual 2.2: Perbandingan prestasi pemulihan imej oleh kelas-kelas penapis berasaskan median.

<b>Kelas Penapis</b>	<b>Pemuliharaan Perincian</b>	<b>Keccekapan Penapisan</b>
Median Piawai	3	3
Median Adaptif	3	2
Median Berpemberat	2	2
Median Pensuisan	1	1

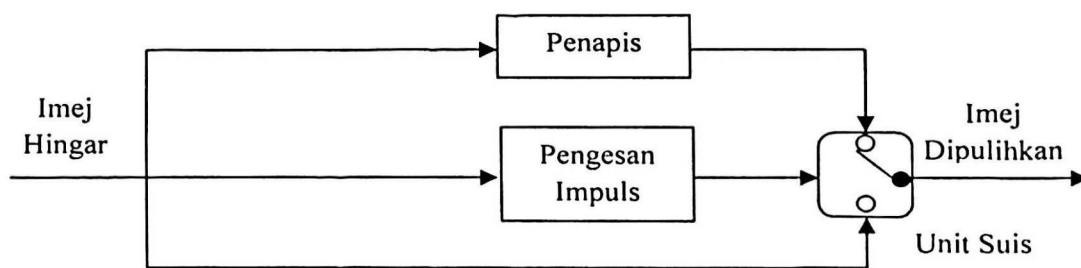
Catatan: Skala [1]-[3] mewakili [1] Baik, [2] Sederhana dan [3] Kurang Memuaskan.



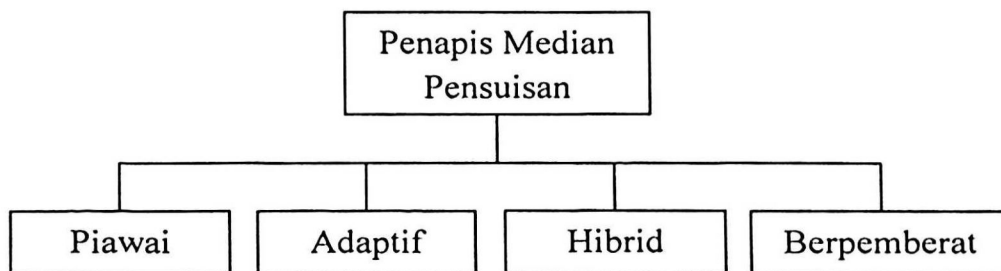
Berdasarkan ringkasan pada Jadual 2.2, didapati bahawa penapis median pensuisan adalah lebih baik berbanding penapis-penapis median dalam kelas yang lain.

### 2.3.3 Penapis Median Pensuisan Konvensional

Untuk proses penapisan hingar impuls, teknik atau kaedah penapisan median pensuisan boleh dianggap sebagai antara yang terkini. Prosedur pensuisan ini adalah berdasarkan kepada pengukuran hingar tempatan ataupun digelar sebagai pengesanan hingar impuls yang dilakukan oleh unit suis (rujuk Rajah 2.7). Berdasarkan analisis oleh pengesanan impuls, unit suis akan memilih sama ada mengekalkan piksel asal imej atau menggantikannya dengan nilai anggaran pemulihan piksel (iaitu output penapis).



Rajah 2.7: Rangka kerja asas penapis pensuisan.



Rajah 2.8: Kaedah-kaedah penapisan hingar impuls dalam domain pensuisan.

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.8, secara umumnya, kaedah penapisan median pensuisan ini boleh dikelaskan kepada 4 kumpulan yang utama iaitu pensuisan piawai, pensuisan berpemberat, pensuisan adaptif dan pensuisan hibrid. Antara penapis yang terawal muncul di kalangan penapis median pensuisan ialah penapis Median Pensuisan I (*Switching Median I* (SWM-I)) yang telah dicadangkan oleh Sun & Neuvo (1994). Dalam SWM-I, mekanisme pengesanan hingarnya akan membandingkan nilai perbezaan mutlak antara piksel  $x(i, j)$  yang sedang diproses dan piksel median  $m(i, j)$  di dalam tettingkap penapisan dengan satu nilai ambang  $T_{SWM-I}$  yang dipratentukan. Proses pengesanan hingar impuls ini diwakili oleh:

$$M(i, j) = \begin{cases} 1 & : |x(i, j) - m(i, j)| > T_{SWM-I} \\ 0 & : |x(i, j) - m(i, j)| \leq T_{SWM-I} \end{cases} \quad (2.3)$$

di mana  $M(i, j)$  adalah topeng hingar yang dijana. Jika nilai perbezaan mutlak tersebut melebihi nilai ambang (iaitu  $M(i, j) = 1$ ), maka piksel yang sedang diproses itu akan dianggap sebagai piksel hingar dan ia perlu dipulihkan oleh proses penapisan yang seterusnya. Sebaliknya jika  $M(i, j) = 0$ , piksel tersebut akan dikategorikan sebagai piksel bebas hingar dan dikekalkan. Terma pemulihan imej oleh penapis SWM-I ini dikira sebagai:

$$y(i, j) = M(i, j) \cdot m(i, j) + [1 - M(i, j)] \cdot x(i, j) \quad (2.4)$$

Dengan mengesan piksel hingar terlebih dahulu sebelum melakukan proses penapisan, penapis SWM-I ini didapati mampu menghasilkan kualiti imej ditapis yang lebih memuaskan jika dibandingkan dengan penapis-penapis median konvensional tanpa konsep pensuisan. Namun, pengesanan hingar berdasarkan