



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201802039, 31 Januari 2018

Pencipta

Nama : **Sri Ratna Sulistyanti, FX Arinto Setyawan, , dkk**
Alamat : Jl. Cancer 15/17 Perum RBI Rajabasa, Bandar Lampung,
Lampung, 35144
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Lampung**
Alamat : Jln. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung, Lampung,
35145
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : **Buku**
Judul Ciptaan : **PENGOLAHAN CITRA; DASAR DAN CONTOH
PENERAPANNYA**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 1 Januari 2016, di Bandar Lampung

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.

Nomor pencatatan : 000100941

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.




a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

LAMPIRAN PENCIPTA


No	Nama	Alamat
1	Sri Ratna Sulistyanti	Jl. Cancer 15/17 Perum RBI Rajabasa
2	FX Arinto Setyawan	Jl. Raja Turunan II No. 40 Komplek Pramuka LK 1 RT 004 Rajabasa Pemuka
3	Hi. Muhamad Komarudin, S.T., M.T.	Jl. Tanah Lot A 5 LK II RT 002 Way Halim Permai





PENGOLAHAN CITRA

Dasar Dan Contoh Penerapannya

- 
-  **Sri Ratna Sulistiyanti**
 -  **FX Arinto Setyawan**
 -  **Muhamad Komarudin**

PENGOLAHAN CITRA; Dasar dan Contoh Penerapannya

oleh Sri Ratna Sulistiyanti; FX Arinto Setyawan; Muhamad Komarudin

Hak Cipta © 2016 pada penulis



Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057; E-mail: info@teknosain.com

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Tajuk Entri Utama: Sulistiyanti, Sri Ratna

PENGOLAHAN CITRA; Dasar dan Contoh Penerapannya/Sri Ratna Sulistiyanti;
FX Arinto Setyawan; Muhamad Komarudin

- Edisi Pertama. Cet. Ke-1. - Yogyakarta: Teknosain, 2016
xii + 114 hlm.; 25 cm

Bibliografi: 113 - 114

ISBN : 978-602-6324-12-2

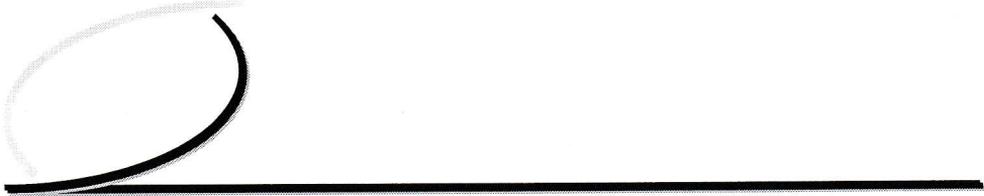
E-ISBN : 978-602-6324-13-9

1. Pengolahan data elektronik

I. Judul

006.6

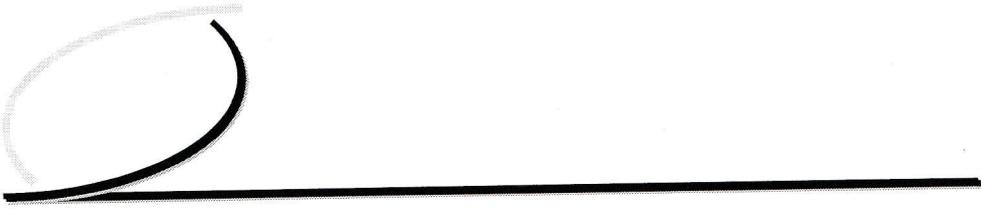
Semua informasi tentang buku ini, silahkan scan QR Code di cover belakang buku ini



DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Asal Mula Pengolahan Citra	2
1.2 Pengertian Pengolahan Citra Digital	4
1.3 Komponen Sistem Pengolahan Citra	8
1.4 Garis Besar Teknik Pengolahan Citra	13
1.5 Bidang Aplikasi Pengolahan Citra	16
BAB 2 DASAR-DASAR CITRA DIGITAL	23
2.1 Persepsi Sistem Visual Manusia	24
2.2 Sarana Perolehan Citra	27
2.3 Hubungan Ketetanggaan Antar Piksel	33
BAB 3 TRANSFORMASI INTENSITAS DAN PENAPISAN	37
3.1 Operasi Dasar Pengolahan Citra Digital	38
3.2 Transformasi Intensitas	40
3.3 Pengolahan Histogram	49
3.4 Penapisan Ruang	58

BAB 4	PEMULIHAN CITRA	63
4.1	Derau Pada Citra Digital	64
4.2	Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Spasial	73
4.3	Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Frekuensi	80
BAB 5	PEMAMPATAN CITRA	83
5.1	Redundansi Data	84
5.2	Proses Pemampatan Citra	85
5.3	Kriteria Pemampatan Citra	87
5.4	Pengukuran Hasil Pemampatan	88
5.5	Klasifikasi Metode Pemampatan Citra	89
5.6	Metode Pemampatan	90
BAB 6	PENGURAIAN DAN REKOSTRUKSI CITRA	103
6.1	Penguraian Citra	103
6.2	Rekonstruksi Citra	106
	DAFTAR PUSTAKA	113



DAFTAR PUSTAKA

- Gonzalez, R.C., R. E. Woods, 2008, *Digital Image Processing*, Pearson Prentice Hall.
- Shih, F., Y., 2010, *Image Processing and Patern Recognition Fundamental and Techniques*, John Willy and Son inc. Publication.
- Sulistiyanti, S.R., A. Susanto, T.S. Widodo, G.B. Suparta, 2010, *Noise Filtering on Thermal Images Acquired by Modified Ordinary Digital Camera //, Proceeding International Conference on Electronics and Information Technology (ICEIE)*, Kyoto, Japan, , 1-3 August 2010.
- Sulistiyanti, S.R., Herlinawati, M. Komarudin, 2011, *Fitur Statistik Orde Satu untuk Menentukan Mutu Buah Apel berbasis Citra Termal, TekTan, Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*, Vol. 3 No. 3, Desember 2011, ISSN: 2085-1278, hal: 159-167.
- Sulistiyanti, S.R., M. Komarudin, L. Hakim, A. Yudamson, 2014, *Study of Environmental Condition Using Wavelet Decomposition Based on Infrared Image, Proceeding 2nd International Conferences on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, ISBN: 978-1-4799-6432-1/14/\$31.00, pp. 170 – 174.
- Sulistiyanti, S.R., M. Komarudin, L. Hakim, A. Yudamson, 2015, *Intensity Average Value of Image Segmentation for Infrared Image of Environmental*

Condition, Proceeding 1st International Conferences on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia, ISBN: 978-1-4799-98 63-0/\$31.00, pp. 220 – 224.

Velho, L., A.C. Frery, J. Gomes, 2009, *Image Processing for Computer Graphic.*

Zhou, H., J. Wu, J. Zhang, 2010, *Digital Image Processing Part II,* Bookboon.com

-oo0oo-

PENGOLAHAN CITRA; DASAR DAN CONTOH PENERAPANNYA

APPROVAL

PENGOLAHAN CITRA; DASAR DAN CONTOH PENERAPANNYA

Editor; Warsito

 **TEKNOSAIN**

Pengolahan Citra; Dasar dan Contoh Penerapannya, oleh Sri Ratna Sulistiyanti, FX

Arinto Setyawan, Muhamad Komarudin, Editor; Warsito

Hak Cipta © 2016 pada penulis

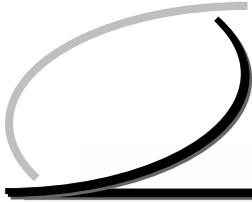


Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283
Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN: - - - -

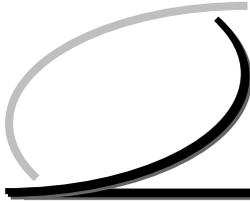
Cetakan Pertama, tahun 2016



KATA PENGANTAR



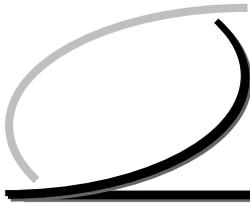




DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Asal Mula Pengolahan Citra	2
1.2 Pengertian Pengolahan Citra Digital	4
1.3 Komponen Sistem Pengolahan Citra	8
1.4 Garis Besar Teknik Pengolahan Citra	13
1.5 Bidang Aplikasi Pengolahan Citra	16
BAB 2 DASAR-DASAR CITRA DIGITAL	23
2.1 Persepsi Sistem Visual Manusia	24
2.2 Sarana Perolehan Citra	27
2.3 Hubungan Ketetangaan Antar Piksel	33
BAB 3 TRANSFORMASI INTENSITAS DAN PENAPISAN	37
3.1 Operasi Dasar Pengolahan Citra Digital	38
3.2 Transformasi Intensitas	40
3.3 Pengolahan Histogram	49
3.4 Penapisan Ruang	58

BAB 4	PEMULIHAN CITRA	63
4.1	Derau Pada Citra Digital	64
4.2	Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Spasial	73
4.3	Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Frekuensi	80
BAB 5	PEMAMPATAN CITRA	83
5.1	Redundansi Data	84
5.2	Proses Pemampatan Citra	85
5.3	Kriteria Pemampatan Citra	87
5.4	Pengukuran Hasil Pemampatan	88
5.5	Klasifikasi Metode Pemampatan Citra	89
5.6	Metode Pemampatan	90
BAB 6	PENGURAIAN DAN REKOSTRUKSI CITRA	103
6.1	Penguraian Citra	103
6.2	Rekonstruksi Citra	106
DAFTAR PUSTAKA		113



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Foto Digital yang Diproduksi Tahun 1921 yang Dikirimkan Menggunakan Sistem Bartlane Cable Picture Transmission (McFarlane)	3
Gambar 1.2	Permukaan Bulan Diambil oleh Ranger 7 pada Tanggal 31 Juli 1964 (McFarlane)	3
Gambar 1.3	Contoh-contoh Citra Objek Pengolahan	5
Gambar 1.4	Representasi Citra Digital	6
Gambar 1.5	Perbedaan Letak Titik Asal (0,0) pada Koordinat Citra dengan Koordinat Kartesian	7
Gambar 1.6	Gambaran Format Ukuran Citra Asli dan Pembagian ke dalam Bagian-bagian yang Lebih Kecil	8
Gambar 1.9	Komponen Sistem Pengolahan Citra Serba Guna	9
Gambar 1.10	Spektrum Gelombang Elektromagnetik	10
Gambar 1.11	Contoh-contoh Citra dan Hasil Pengolahan dalam Bentuk Penampang	11
Gambar 1.12	Citra Asli dan Hasil Berbagai Pengolahan Citra	13
Gambar 1.13	Langkah Dasar dalam Pengolahan Citra Digital	15
Gambar 1.14	Konsep Pencitraan Infrared Seeker	17
Gambar 1.15	Prinsip Kerja Teropong Malam Hari	18
Gambar 1.16	Citra Satelit Suatu Wilayah di Aceh Sebelum dan Sesudah Tsunami	19

Gambar 1.17	Sistem Pengawasan Keamanan Semi Otonom	20
Gambar 1.18	Adegan dalam Film Avatar	21
Gambar 1.19	Ilustrasi Mobil Listrik Tesla dalam Mengenali Keadaan di Sekitarnya	22
Gambar 2.1	Tampang-Lintang Bola-Mata Manusia	24
Gambar 2.2	Representasi Mata Saat Melihat Objek	25
Gambar 2.3	Penyerapan Fotoreseptor Manusia untuk Masing-masing Bentuk Kerucut	26
Gambar 2.4	Model Pola Citra	27
Gambar 2.5	Sensor Pencitraan Tunggal	28
Gambar 2.6	Diagram Blok Sistem Perolehan Data Citra	29
Gambar 2.7	Citra Digital Hasil Proses Pencuplikan Citra Asli	30
Gambar 2.8	Citra Digital Hasil Proses Kuantisasi 8 Bit dan 4 Bit	31
Gambar 2.9	Warna Primer	33
Gambar 2.10	Tetangga Piksel	34
Gambar 3.1	Lingkungan 3×3 dari Sebuah Titik (x,y) pada Citra dalam Daerah Spasial	38
Gambar 3.2	Ilustrasi Berbagai Tipe Operasi Pengolahan Citra	39
Gambar 3.3	Proses Pengambangan dengan $T = 128$	41
Gambar 3.4	Operasi Binerisasi	42
Gambar 3.5	Proses Operasi Negatif	42
Gambar 3.6	Proses Operasi Negatif	43
Gambar 3.7	Proses Operasi Negatif Pada Citra Warna	43
Gambar 3.8	Proses Operasi Pencerahan Citra	44
Gambar 3.9	Proses Pencerahan Citra	45
Gambar 3.10	Histogram Citra Berkontras Rendah (a) Cenderung Gelap, (b) Cenderung Terang, (c) Tidak Terlalu Gelap dan Terang	45
Gambar 3.11	Histogram Citra Berkontras Bagus	46
Gambar 3.12	Histogram Citra Berkontras Tinggi	47
Gambar 3.13	Pemetaan Intensitas Piksel pada Peregangan Kontras	48
Gambar 3.14	Ilustrasi Peregangan Kontras	48
Gambar 3.15	Perbandingan Hasil Konversi	49
Gambar 3.16	Histogram Suatu Citra	51

Gambar 3.17	Histogram Hasil	52
Gambar 3.18	Histogram Sebelum Perataan	53
Gambar 3.19	Histogram Setelah Melalui Proses Perataan	54
Gambar 3.20	Histogram Hasil Spesifikasi	57
Gambar 3.21	Histogram citra RGB (Sulistiyanti, 2010)	57
Gambar 3.22	Tapis Batas	58
Gambar 3.23	Tapis Rerata	59
Gambar 3.24	Tapis Median	60
Gambar 3.25	Kernel Tapis Lolos Rendah	60
Gambar 4.1	Model Degradasi Citra	63
Gambar 4.2	Contoh Gaussian dengan $\sigma=1$	66
Gambar 4.3	Citra asli dan berderau	66
Gambar 4.4	Grafik Kerapatan Derau Rayleigh	67
Gambar 4.5	Citra Asli dan Citra Berderau Rayleigh	67
Gambar 4.6	Grafik Kerapatan Derau Erlang	68
Gambar 4.7	Citra asli dan Citra Berderau Erlang	68
	Gambar 4.8 Grafik Kerapatan Derau Eksponensial	69
Gambar 4.9	Citra Asli dan Citra Berderau Eksponensial	69
Gambar 4.10	Grafik Kerapatan Derau Seragam	70
Gambar 4.11	Citra Asli dan Citra Berderau Seragam	70
Gambar 4.12	Grafik Kerapatan Derau Garam dan Merica	71
Gambar 4.13	Contoh Citra Berderau Garam dan Merica	72
4.2	Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Spasial	73
Gambar 4.14	Contoh Mask Tapis Lolos Rendah	74
Gambar 4.15	Proses Penapisan Menggunakan Mask	74
Gambar 4.16	Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Rerata Aritmatika	75
Gambar 4.17	Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Min	76
Gambar 4.18	Proses penghilangan derau menggunakan tapis Min	77
Gambar 4.19	Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Titik Tengah	78
Gambar 4.20	Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Median	79
Gambar 4.21	Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Rerata Harmonic	79

Gambar 4.21	Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Rerata Kontraharmonic	80
Gambar 4.22	Tapis band reject dan band pass.	81
Gambar 4.23	Beberapa Proses Pemulihan	81
Gambar 5.1	Model Umum Proses Pemampatan Citra	86
Gambar 5.2	Sumber Encoder	86
Gambar 5.3	Sumber Decoder	87
Gambar 6.1	Aneka Bentuk Ragam Berdasar Ukuran dan Momen-Momennya	104
Gambar 6.2	Segmentasi dengan 4 Segmen	105
	Gambar 6.3 Segmentasi dengan 8 Segmen	105
Gambar 6.4	Segmentasi dengan 16 Segmen	106
Gambar 6.5	Citra Penampang Otak Manusia	106
Gambar 6.6	Posisi sumber sinar dan kepala	107
Gambar 6.6	Gambaran Sederhana dengan Model Penampang Berbentuk Bulat	107
Gambar 6.7	Citra Proyeksi 2D	108
Gambar 6.8	Transformasi Radon sederhana	108
Gambar 6.9	Objek Berbentuk Tiga Titik	109
Gambar 6.10	Pemanfaatan Alihragam Wavelet	111
Gambar 6.11	Dekomposisi Wavelet	111

BAB 1

PENDAHULUAN

Citra merupakan salah satu bentuk informasi yang diperlukan manusia selain teks, suara dan video. Informasi ini diperlukan bukan hanya untuk komunikasi antar manusia saja tetapi juga antara manusia dengan mesin. Informasi yang terkandung dalam sebuah citra dapat diinterpretasikan berbeda-beda oleh manusia satu dengan yang lain. Artinya, nilai informasi pada sebuah citra bersifat subyektif tergantung keperluan masing-masing manusia. Oleh karena itu diperlukan pengolahan citra untuk mendapatkan citra yang memiliki informasi yang dikehendaki.

Berkembangannya teknik pengolahan citra digital dipicu oleh tujuan untuk membantu hidup manusia menjadi lebih mudah. Salah satu kemudahannya adalah membantu manusia menginterpretasikan objek yang tertangkap kamera menggunakan teknik peningkatan kualitas citra. Selain itu, pengolahan citra digital digunakan juga sebagai pengindra mesin otomatis. Perkembangan ini terbantu dengan perkembangan dunia teknologi khususnya komputer yang meningkat sangat cepat terutama segi kecepatan proses dan memori penyimpanan. Perkembangan ini memungkinkan pengolahan citra digital dapat dilakukan secara *real-time*, menyimpan citra dengan kapasitas memori yang lebih kecil tanpa mengurangi kualitas dan mengirimkan citra dengan cepat ke tempat yang berjarak jauh.

Bab ini membicarakan mengenai pengertian pengolahan citra digital, awal mula perkembangannya, komponen dalam sistem pengolahan citra digital dan pentingnya aplikasi pengolahan citra digital di kehidupan sehari-hari.

1.1 Asal Mula Pengolahan Citra

Peristiwa yang ditandai sebagai awal mula pemicu berkembangnya teknik pengolahan citra adalah keberhasilan pengiriman photo secara digital pada tahun 1921. Pada peristiwa ini photo dikirimkan melintasi samudra Atlantik menggunakan kabel bawah laut dari kota New York menuju kota London. Sistem pengiriman ini ditemukan oleh Harry G. Bartholomew dan Maynard D. McFarlane dan dikenal dengan nama *Bartlane cable picture transmission system*. Keuntungan penggunaan sistem ini adalah reduksi waktu yaitu pengiriman photo yang biasanya memerlukan waktu beberapa minggu dapat berkurang menjadi 3 jam saja. Kekurangannya adalah berkisar pada teknik pengiriman data secara digital dan teknik pencetakan kembali pada sisi penerima untuk mendapatkan satu resolusi gambar yang baik.

Pada sistem ini, foto dikirimkan dalam bentuk digital dan pada penerima oleh printer telegraph diubah kembali menjadi gambar tercetak. Sistem ini pada awalnya mampu mengkodekan gambar dalam 5 tingkat keabuan (Gambar 1.1). Peningkatan kemampuan pengkodean berkembang menjadi 15 tingkat keabuan pada tahun 1929. Meskipun melibatkan gambar digital, photo ini tidak dapat dianggap sebagai hasil pengolahan gambar digital karena dalam proses pembuatan atau rekayasanya tidak menggunakan komputer.

Pada awal tahun 1960, muncul komputer yang cukup memiliki kemampuan kecepatan proses dan kapasitas memori yang dibutuhkan untuk melakukan tugas-tugas pengolahan citra. Perkembangan komputer yang cukup pesat dan awal-awal program angkasa luar mendorong lahirnya apa yang disebut pengolahan citra digital. Awalnya komputer digunakan untuk meningkatkan kualitas gambar hasil pemotretan proyek

luar angkasa dan memperbaiki distorsi-distorsi yang terjadi pada saat pengiriman. Gambar 1.2 memperlihatkan gambar bulan yang diambil oleh *Ranger 7* pada tanggal 31 Juli 1964 yang telah dilakukan perbaikan terhadap distorsi yang terjadi pada kamera TV.



Gambar 1.1 Foto Digital yang Diproduksi Tahun 1921 yang Dikirimkan Menggunakan Sistem Bartlane Cable Picture Transmission (McFarlane)



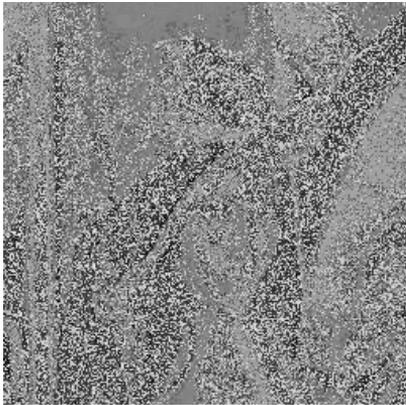
Gambar 1.2 Permukaan Bulan Diambil oleh Ranger 7 pada Tanggal 31 Juli 1964 (McFarlane)

Pengolahan citra digital pada awalnya hanya digunakan untuk mengubah citra analog menjadi digital dan perbaikan kualitas citra. Seiring perkembangan peralatan-peralatan pendukung pengolahan citra maka penggunaan pengolahan citra digital menjadi lebih beragam. Melalui algoritma pengolahan citra, fungsi sensor penglihatan pada manusia diharapkan dapat digantikan dengan sensor penglihatan buatan (kamera). Kecepatan proses komputer yang meningkat pesat memungkinkan proses pengolahan citra digital dilakukan secara *realtime*. Demikian pula perkembangan memori memungkinkan citra analog dapat dikodekan menjadi citra warna digital yang mendekati warna aslinya.

1.2 Pengertian Pengolahan Citra Digital

Arti pengolahan menurut kamus besar Bahasa Indonesia (KBBI) adalah suatu cara atau proses mengusahakan sesuatu supaya menjadi lain atau menjadi lebih sempurna. Sedangkan citra menurut KBBI berarti rupa atau gambar, dalam hal ini adalah gambar yang diperoleh menggunakan sistem visual. Secara keseluruhan pengolahan citra berarti suatu cara mengusahakan suatu citra menjadi citra lain yang lebih sempurna atau yang diinginkan. Dengan kata lain, pengolahan citra adalah suatu proses dengan masukan citra dan menghasilkan keluaran berupa citra seperti yang dikehendaki.

Citra menurut kamus Webster berarti representasi, kemiripan atau imitasi dari suatu objek. Sebagai contoh foto sebuah apel mewakili identitas buah apel tersebut di depan sebuah kamera. Citra dapat berupa hasil fotografi, lukisan, atau gambaran serta corat-coret yang terjadi di kertas, kanvas, dan di layar monitor. Dapat dikatakan juga citra merupakan sebaran variasi gelap-terang, redup-cerah, dan/atau warna-warni di suatu bidang datar. Formalitas pengungkapan dengan angka-angka yang merepresentasikan variasi intensitas kecerahan atau/dan warna pada arah mendatar dan tegak. Pada Gambar 1.3 diperlihatkan contoh-contoh citra yang telah menjadi objek pengolahan citra yang menarik.



Lena

sumber:



Boat

sumber:

Gambar 1.3 Contoh-contoh Citra Objek Pengolahan

1.2.1 Citra Sebagai Himpunan Data 2D

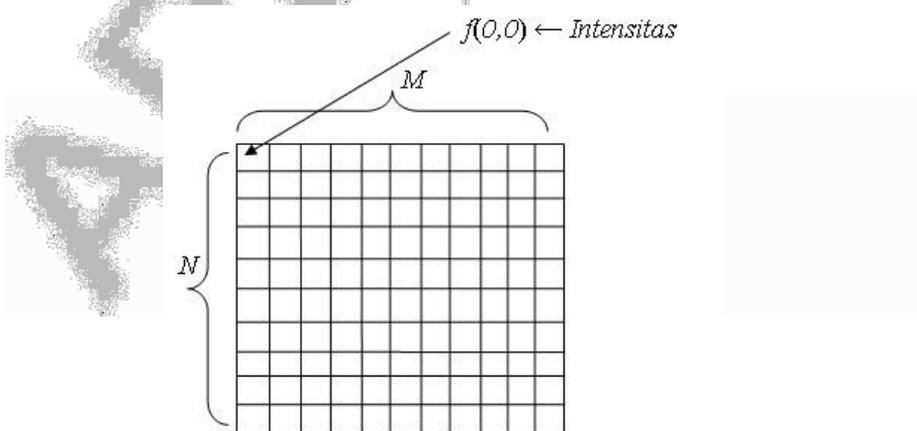
Data Citra ditangkap oleh mata sebagai gambar. Meskipun Mata dapat melihat langsung objek atau pemandangan tanpa alat, rekaman yang terjadi di dalam otak bersifat Relatif dan Subjektif. Dikatakan relatif karena hanya dapat mengingat bagian-bagian yang lebih terang dan lebih gelap, sedangkan sifat subjektif karena dilatarbelakangi pengalaman dan harapan yang berbeda dari orang ke orang lain. Maka diperlukan alat untuk menangkap dan menyimpan Citra secara objektif, yaitu yang dapat disajikan berdasar suatu sistem ukuran yang baku.

Sebelum ada kamera sebagai penangkap citra dan film untuk merekamnya, "citra" dibuat oleh pengamatnya dengan menggambar di "medium datar". Tanda petik dimaksud untuk lebih menonjolkan sifat subjektif dengan saran yang masih primitif, seperti yang dilakukan di awal sejarah manusia. Dengan kamera aspek subjektif dapat diminimumkan dan medium rekaman praktis datar sempurna. Dengan demikian objektivitas data citra dapat dikukuhkan melalui suatu proses pembakuan atau standarisasi yang telah disepakati bersama.

Secara rinci data citra terdapat pada masing-masing unsur citra, yang dengan Kamera Analog berupa piksel yang tidak teratur dalam posisi dan beragam dalam ukuran. Pada film dengan angka ASA tinggi, ukuran piksel merata tinggi dan sebaliknya pada ASA rendah piksel berukuran kecil-kecil. Sifat visual yang jelas ASA tinggi lebih peka tetapi terlihat kasar, sedang ASA rendah kurang peka tetapi tampil halus sehingga lebih kaya detail.

1.2.2 Ketentuan Citra

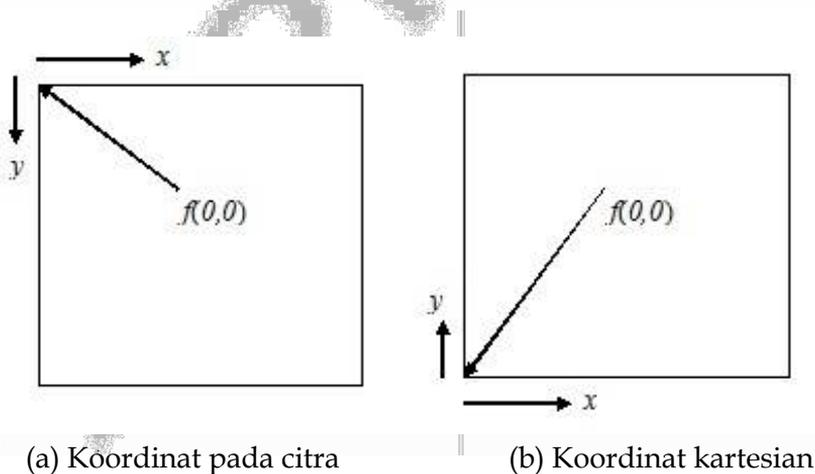
Bila variabel x untuk posisi pada arah horizontal dan y untuk vertical, citra disajikan sebagai $f(x, y)$. Penyesuaian dengan proses pengolahan di komputer, versi diskret citra adalah $f(m, n)$, dengan m dan n menjadi nomer urut posisi, yang secara umum $m = 0, 1, 2, \dots, M - 1$ dan $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$. Dengan demikian ada sebanyak $M \times N$ posisi diskret, yang menjadi ukuran ketelitian data citra. Di setiap posisi (m, n) terletak detail yang selanjutnya disebut unsur gambar atau *picture element* yang disingkat menjadi *pel*, *pixel* atau *piksel*. Representasi citra digital diperlihatkan pada Gambar 1.4. Terdapat perbedaan cara menyatakan posisi titik antara koordinat pada citra dengan koordinat grafik (kartesian). Gambar 1.5 memperlihatkan perbedaan letak titik $(0, 0)$ antara koordinat pada citra dengan koordinat kartesian.



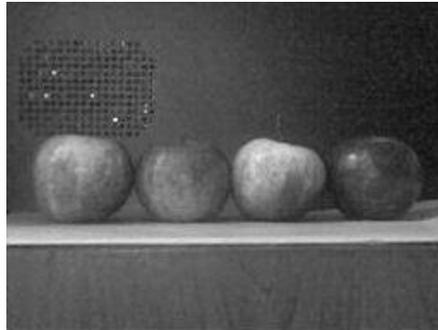
Gambar 1.4 Representasi Citra Digital

Meskipun besar M dan N dapat sembarang, lazim juga $M = N$ sebagai format bujur-sangkar atau square. Untuk kesederhanaan komputasi, khususnya yang melibatkan Alihragam atau Transform, besar M dan N merupakan angka 2 (dua) pangkat bilangan bulat, yaitu: 2, 4, 8, 16, 32, 64, dst. Bila citra asli berukuran $M \times N$ sembarang, untuk kepraktisannya dapat dilakukan pembagian atau pemotongan, atau cropping dalam ukuran yang lebih kecil, agar lebih praktis untuk diolah atau/ dan sesuai fokus tujuan pengolahan (Gambar 1.6).

Komputer mengolah data citra secara digital, maka citra yang semula bersifat analog, yaitu dapat bernilai kecerahan sembarang sesuai sifat asli objek, diubah menjadi data terkuantisasi, yaitu hanya pada nilai-nilai bulat tertentu (diskret). Standar umum adalah sebanyak 256 aras (*level*) intensitas, dengan sandi atau kode biner sebanyak 8 digit (bit) atau 1 byte. Untuk ketelitian dapat lebih banyak dari 256 aras, dan sebaliknya dapat pula lebih sedikit bila telah mencukupi. Pengertian ketelitian dan mencukupi berhubungan dengan kuantitas dan kualitas informasi yang diharapkan dari hasil Pengolahan. Untuk ini perlu ada pemahaman mengenai makna Informasi secara kualitatif.



Gambar 1.5 Perbedaan Letak Titik Asal (0,0) pada Koordinat Citra dengan Koordinat Kartesian



Gambar 1.6 *Gambaran Format Ukuran Citra Asli dan Pembagian ke dalam Bagian-bagian yang Lebih Kecil (Sulistiyantri, 2011)*

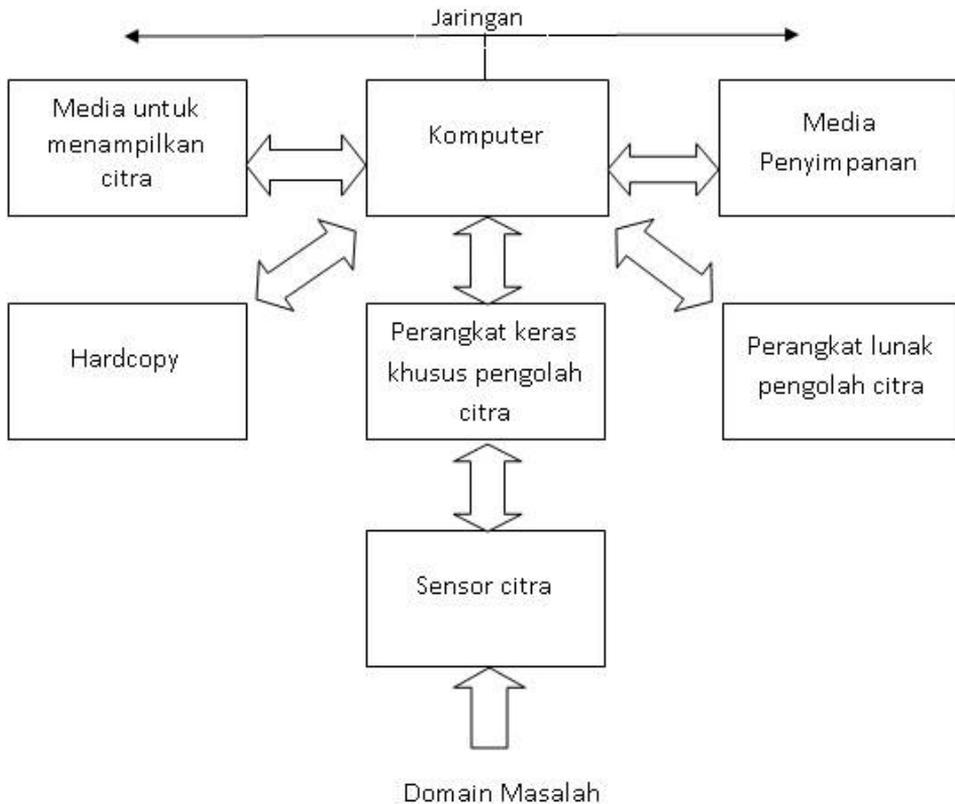
1.3 Komponen Sistem Pengolahan Citra

Peralatan fotografi merupakan sarana pendigital citra yang telah lama dikenal dan paling banyak dipakai. Dalam satu dekade terakhir keberadaan *Kamera Digital* makin dominan, termasuk yang telah menyatu di *HP* atau telepon seluler. Dengan demikian akses data citra ke sarana pengolahan makin mudah. Kamera digital merupakan salah satu komponen dalam sistem pengolahan citra. Gonzalez menggambarkan komponen sistem pengolahan citra dalam blok diagram seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.9.

Kamera digital termasuk ke dalam sensor citra, di dalamnya terdapat sensor yang menghasilkan keluaran elektris yang sebanding dengan intensitas cahaya dan terdapat pula digitizer yang mengubah keluaran elektris menjadi data digital. Citra digital dapat diperoleh tidak hanya menggunakan alat yang menggunakan sensor penangkap intensitas cahaya saja tetapi citra dapat juga diperoleh menggunakan sensor lainnya.

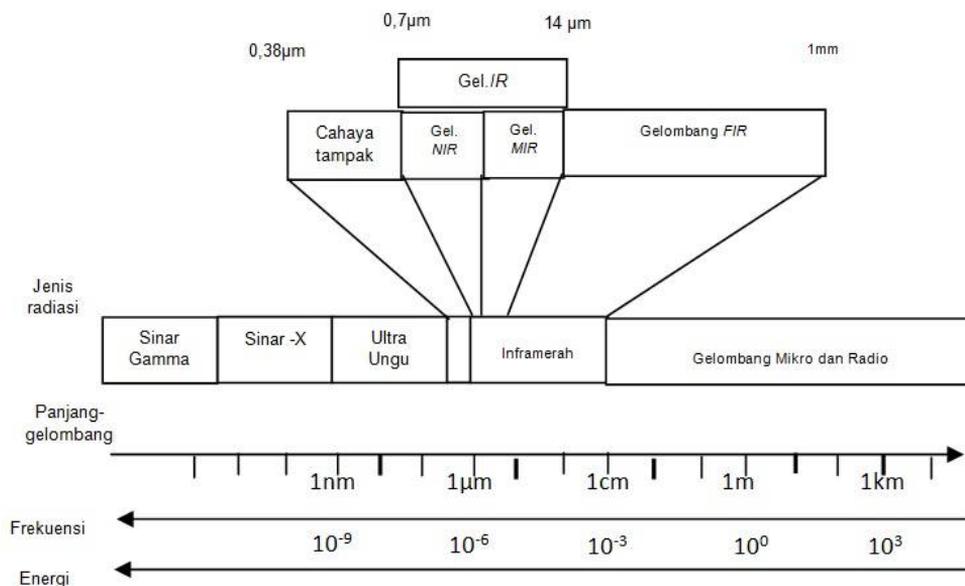
Selain Kamera Digital yang telah digunakan secara umum, telah banyak pula digunakan system-system pencitraan yang lain seperti Sinar Gamma, Sinar-X, Ultraviolet, Inframerah, Gelombang-Mikro, Bidang-Frekuensi Radio, Ultrasonik, dan lain-lain. Pengambilan citra Sinar-X juga telah berbentuk digital, dan bahkan telah dilengkapi pula dengan fasilitas peningkatan mutu citra untuk kemudahan perolehan informasi yang

diharapkan. Bahkan citra hasil pencitraan ultrasonic telah berbentuk citra 4D dengan tingkat keakuratan yang tinggi.



Gambar 1.7 *Komponen Sistem Pengolahan Citra Serba Guna*

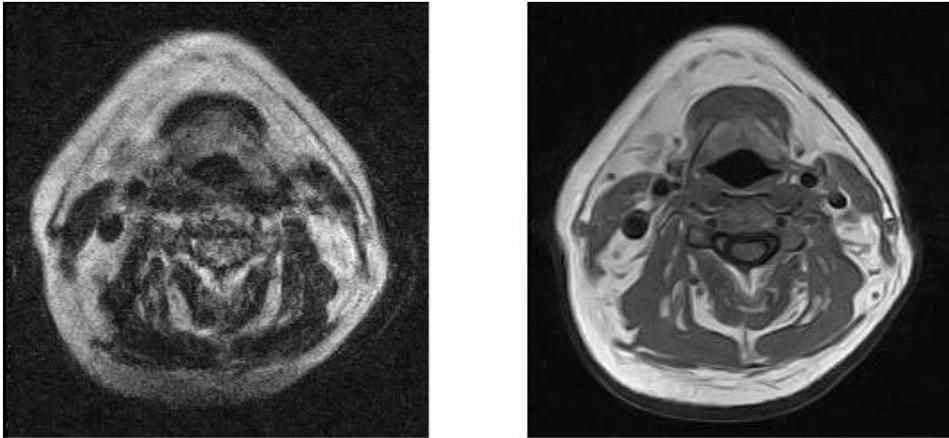
Cahaya biasa yang dikenal sebagai pancaran gelombang EM (Elektromagnetik) di bidang frekuensi Visual, dapat ditangkap dengan kamera digital biasa dalam bentuk hitam-putih (aras keabuan) dan berwarna. Citra berwarna ditangkap melalui sensor-sensor Merah (*R*), Hijau (*G*), dan Biru (*B*). Dengan demikian di setiap piksel terdapat tiga data citra, sehingga secara menyeluruh jumlah informasi yang terkandung di dalam Citra Berwarna menjadi berlipat-ganda. Besar pelipatgandaan informasi diamanatkan oleh Teori Informasi yang ditemukan di tahun 1948.



Gambar 1.8 Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Adanya sistem pencitraan melalui “sinar” atau gelombang EM di luar bidang visual telah memperkaya informasi yang dapat diperoleh dari citra. Citra Sinar-X telah lama dikenal, yang mampu menampilkan objek-objek di dalam tubuh manusia dan benda-benda padat. Bidang Kedokteran telah memanfaatkan informasi yang terdapat di dalam citra-citra hasil “pemetretan” berdasar sinar atau gelombang EM di luar cahaya visual. Gambar 1.10 menunjukkan posisi berbagai macam sinar tersebut pada Spektrum Gelombang EM yang telah dimanfaatkan untuk perolehan citra digital.

Di samping gelombang EM, pencitraan juga dapat terjadi berdasar Emisi Partikel Elektron, Positron, dan melalui proses Resonansi. Citra juga dapat diperoleh untuk memperlihatkan rincian objek di dalam tubuh dan benda-benda padat atau lunak dalam bentuk irisan atau penampang, seolah hasil “pemotongan” benda 3D. Gambar 1.11 memperlihatkan contoh-contoh hasil perolehan data citra melalui berbagai sarana pencitraan tersebut.



Gambar 1.9 Contoh-contoh Citra dan Hasil Pengolahan dalam Bentuk Penampang

Perangkat keras pengolahan citra khusus biasanya terdiri dari digitizer ditambah dengan perangkat keras yang melakukan operasi sederhana lainnya seperti arithmetic logic unit (ALU). ALU melakukan operasi aritmetik dan logika secara paralel pada keseluruhan citra. Sebagai contoh, ALU digunakan untuk mereduksi derau pada citra dengan cara merata-rata runtunan citra. Tipe perangkat keras ini kadang-kadang disebut dengan “front-end subsystem” dan karakteristik yang paling membedakannya adalah segi kecepatan.

Komputer dalam sistem pengolahan citra adalah komputer untuk kegunaan umum yang dapat berupa komputer pribadi atau superkomputer. Perangkat lunak untuk pengolahan citra terdiri dari modul khusus untuk melakukan tugas tertentu. Juga dirancang memiliki kemampuan agar pemakai dapat menuliskan kode programnya menggunakan modul khusus.

Kemampuan penyimpanan masal yang besar adalah keharusan dalam aplikasi pengolahan citra. Jika tanpa pemampatan, sebuah citra berukuran 1024×1024 dengan kedalaman warna 24 bit akan membutuhkan ruang penyimpanan sebesar 3 MB. Menjadi sebuah tantangan untuk menyediakan penyimpanan yang cukup memadai saat

berurusan dengan ribuan atau bahkan jutaan citra. Kemajuan teknologi elektronika yang sangat pesat membuat permintaan akan media penyimpanan yang berkapasitas besar dapat diwujudkan. Kemajuan lain adalah ditemukannya algoritma pemampatan yang efisien tanpa mengurangi kualitas yang berarti. Penyimpanan digital untuk aplikasi pengolahan citra masuk dalam 3 kategori dasar, yaitu:

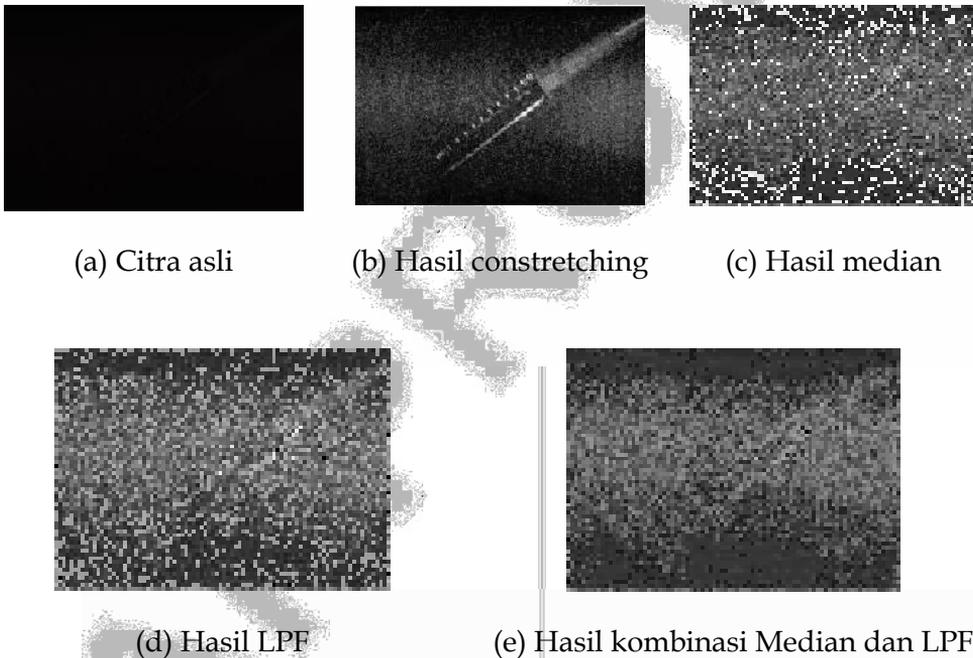
- a. Penyimpanan jangka pendek (*short-term storage*) untuk digunakan selama pemrosesan
- b. Penyimpanan on-line (*Online storage*) untuk pemanggilan cepat
- c. Penyimpanan arsip (*Archival storage*) dikhususkan untuk akses yang jarang.

Memori komputer yang bersifat *volatile* merupakan satu metode penyediaan penyimpanan jangka pendek. Metode Lainnya menggunakan *frame buffers* untuk menyimpan satu atau lebih gambar dan dapat diakses secara cepat. Penyimpan on-line dan arsip biasanya berbentuk magnetic disks atau optical-media. Penyimpanan arsip biasanya berukuran besar untuk menyimpan berkas citra namun jarang diakses.

Penampil citra dapat berupa monitor dikendalikan oleh keluaran dari citra dan kartu penampil grafis yang merupakan bagian dari komputer. Hardcopy merupakan alat perekam citra dapat berupa printer laser, film kamera, peralatan inkjet dan peralatan digital seperti CD ROM maupun DVD ROM. Film kamera memberikan resolusi tertinggi tetapi untuk media tertulis kertas tetap menjadi pilihan. Jaringan merupakan fungsi standard dalam sistem komputer. Pertimbangan utama jaringan komunikasi data adalah *bandwidth*. Data hasil aplikasi pengolahan citra yang berukuran besar merupakan tantangan dalam pengiriman melalui jaringan internet. Akan tetapi perkembangan teknologi serat optic dan broadband yang pesat memungkinkan *bandwidth* jaringan yang besar sehingga masalah komunikasi data citra dapat teratasi.

1.4 Garis Besar Teknik Pengolahan Citra

Hasil Perolehan Citra, disamping langsung disimpan di sarana pengolahan, juga dapat langsung diolah-awal (*preprocessing*) untuk penyesuaian dengan langkah pengolahan selanjutnya. Tahap penyimpanan juga dapat terkait dengan format data yang pas dan efisien untuk kekhususan pengolahan-awal tersebut. Pengolah-awal ini dapat sekedar melakukan *cropping* atau pengambilan sebagian citra dan atau penapisan (*filtering*) untuk “membersihkan” yang dinilai tidak mengandung informasi, diperlihatkan pada Gambar 1.12.



Gambar 1.10 Citra Asli dan Hasil Berbagai Pengolahan Citra (Sulistiyanti, 2010)

Poin terpenting dalam pengolahan citra adalah manipulasi dan analisis sebuah citra dilakukan dengan bantuan komputer. Secara garis besar pengolahan citra dikelompokkan menjadi 2 jenis kegiatan:

- a. Memperbaiki kualitas citra agar lebih mudah diinterpretasikan
- b. Mengolah informasi pada citra untuk keperluan yang diinginkan biasanya untuk mengenali pola suatu objek.

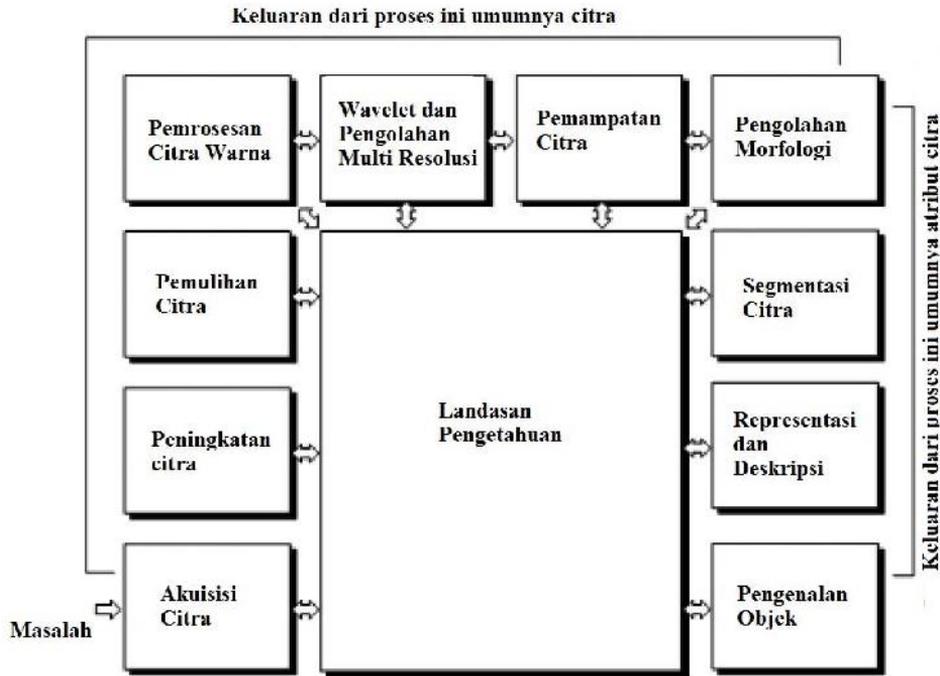
Aplikasi kedua berhubungan erat dengan pengenalan pola (*pattern recognition*) yang bertujuan untuk mengenali suatu objek. Pengenalan pola dilakukan dengan cara mengekstrak informasi penting berupa fitur-fitur tertentu yang terdapat pada suatu citra. Pengenalan pola berhubungan erat dengan pengolahan citra. Pengenalan pola merupakan bagian dari tahap akhir pengolahan citra yaitu analisis citra. Melalui pengolahan citra diharapkan terbentuk suatu sistem yang dapat memproses citra masukan sehingga citra tersebut dapat dikenali polanya secara langsung.

Secara umum tahapan pengolahan citra digital meliputi akuisisi citra, peningkatan kualitas citra, segmentasi citra, representasi dan uraian, pengenalan dan interpretasi. Gambar 1.13 memperlihatkan diagram blok tahapan pengolahan citra menurut Gonzalez, 2008. Tahap pertama dalam pengolahan citra adalah akuisisi citra. Akuisisi citra berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan serta menyiapkan data citra menggunakan alat perekaman citra dan memprosesnya sehingga menghasilkan data yang dikehendaki. Alat perekam citra yang dapat digunakan antara lain kamera video, kamera konvensional, kamera digital, scanner dan lain-lain. Jika citra yang dihasilkan masih dalam bentuk analog maka perlu didigitalkan menggunakan digitizer.

Tahap peningkatan citra dikenal juga sebagai tahap pre-processing. Dalam tahap ini dilakukan peningkatan kecerahan, pengubahan kontras, menghilangkan noise, transformasi geometri, dan penentuan bagian citra yang dibutuhkan untuk diolah lebih lanjut. Tujuan tahap ini adalah untuk meningkatkan kemungkinan keberhasilan dalam proses pengolahan citra tahap berikutnya.

Tahap pemulihan citra berbeda dengan tahap peningkatan citra. Tahap peningkatan citra lebih bersifat subyektif artinya lebih dipengaruhi oleh kehendak manusia sedangkan tahap pemulihan citra bersifat obyektif yang cenderung didasarkan pada model probabilitas atau matematis dari

degradasi citra. Artinya pemulihan citra bertujuan untuk mengembalikan citra ke citra aslinya.



Gambar 1.11 Langkah Dasar dalam Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra warna, wavelet, pemampatan dan pengolahan morfologi merupakan proses penting dalam pengolahan citra. Saat ini hampir semua pertukaran informasi citra dan rekayasa citra menggunakan citra warna. Konsekuensinya adalah melibatkan ukuran data yang besar karena untuk mengkodekan 1 piksel citra membutuhkan bit yang panjang sedangkan saat ini ukuran citra menjadi sangat besar hingga orde Mega piksel. Untuk mengatasi permasalahan ini salah satu solusinya adalah menggunakan metode pemampatan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pemampatan adalah menggunakan wavelet. Pengolahan morfologi memandang citra sebagai sebuah himpunan dan biasanya dipergunakan dalam citra biner.

Tahap segmentasi citra merupakan tahap lanjut dalam pengolahan citra. Tujuan tahap ini adalah untuk membagi citra menjadi bagian-bagian pokok yang mengandung informasi penting, contoh aplikasinya adalah untuk memisahkan antara objek dengan latar belakang. Segmentasi citra secara otomatis merupakan tugas yang paling sulit dalam pengolahan citra digital. Keakuratan proses segmentasi citra akan mempengaruhi keberhasilan dalam tugas pengenalan objek.

Tahap representasi dan deskripsi mengikuti keluaran dari tahap segmentasi yang biasanya berupa data citra mentah yang merupakan salah satu batas suatu wilayah. Data citra ini berupa runtunan titik-titik koordinat kurva tertutup dengan deskripsi luasan dan parameternya. Proses selanjutnya adalah deteksi ciri dan ekstraksi ciri yang hasilnya dapat digunakan untuk proses akhir dari pengolahan citra yaitu analisis citra.

1.5 Bidang Aplikasi Pengolahan Citra

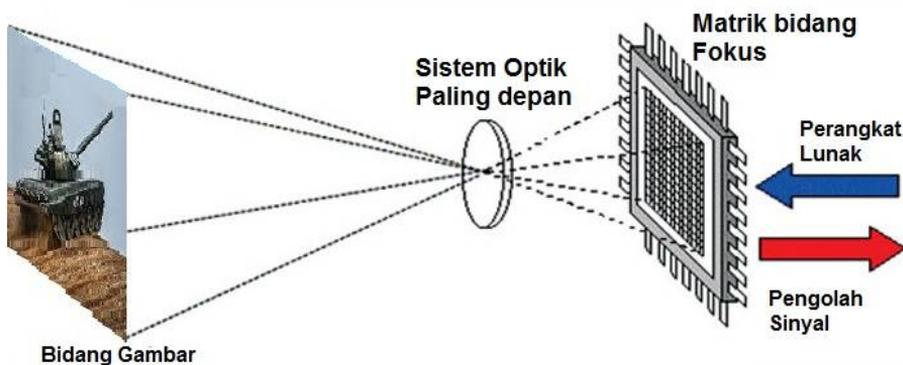
Pada kehidupan sehari-hari, pengolahan citra telah dipergunakan secara luas diberbagai bidang. Jika awalnya perkembangan bidang ini didorong oleh kebutuhan pengiriman gambar terutama gambar hasil photo astronomi maka saat ini aplikasi pengolahan citra telah diterapkan untuk kebutuhan sehari-hari. Beberapa bidang yang memanfaatkan teknologi pengolahan citra adalah:

a. Bidang Militer

Tidak dapat dipungkiri bahwa bidang militer adalah pengguna teknologi di segala bidang ilmu. Bahkan teknologi yang saat ini banyak digunakan di luar bidang militer awalnya dikembangkan untuk bidang ini, misalnya komputer dan internet. Teknik pengolahan citra untuk bidang militer digunakan pada pengenalan target pada peluru kendali, teleskop malam hari (Night Vision), pengenalan jenis pesawat musuh.

Teknologi pengolahan citra digunakan pada peluru kendali udara ke udara (AAM) Python-5 buatan israel dan PARS 3LR buatan Jerman. Peluru

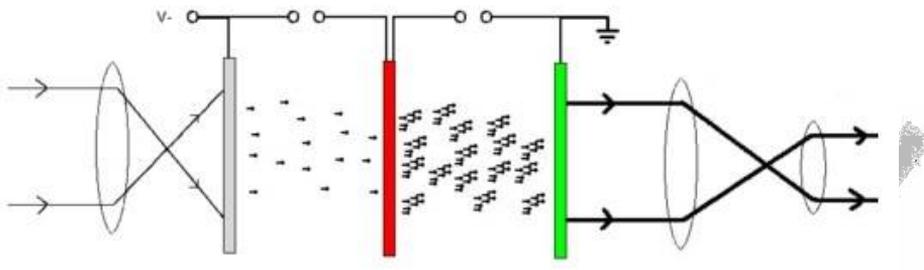
kendali Python-5 menggunakan teknologi *advanced electro-optical infrared homing seeker* yang digunakan untuk yang memindai area target pesawat musuh. Elektro-optik merupakan sistem pemandu terbaru pada pemandu peluru kendali. Konsep dari pencitraan *Infrared seeker* diperlihatkan pada Gambar 1.14.



(Sumber: <http://electronicsforu.com/technology-trends/precision-guided-munitions-infra-red-guided-weapons-part-3-4>)

Gambar 1.12 Konsep Pencitraan *Infrared Seeker*

Teknologi teropong malam hari digunakan untuk membantu peperangan di malam hari atau pada kondisi minim cahaya. Dengan menggunakan kamera infrared dan pengolahan citra maka obyek pada daerah minim cahaya dapat ditampilkan lebih jelas. Prinsip kerja teropong malam hari diperlihatkan Gambar 1.15. Perangkat teropong malam hari menggunakan lempengan mikrokanal untuk penguatannya. Dimana foton dari sumber minim cahaya masuk ke lensa objektif (disebelah kiri) dan mengenai photokatode (lempengan abu-abu). Fotokatode yang dibiaskan secara negatif melepaskan elektron yang dipercepat ke lempengan mikrokanal bertegangan lebih tinggi (lempengan merah). Setiap elektron menyebabkan beberapa elektron akan dilepaskan dari lempengan mikrokanal. Elektron-elektron ditarik ke layar fosfor bertegangan lebih tinggi (hijau) yang menyebabkan fosfor akan menghasilkan foton cahaya yang dapat dilihat melalui lensa-lensa mata.



Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Night_vision_device)

Gambar 1.15 Prinsip Kerja Teropong Malam Hari

b. Bidang Kesehatan

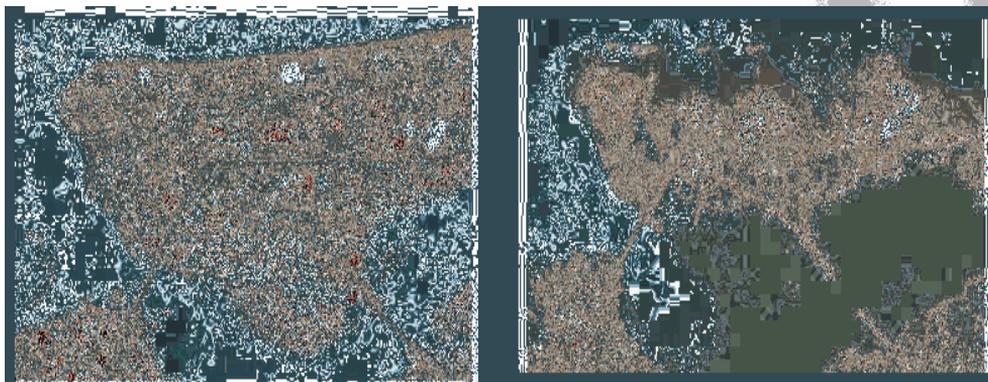
Pemanfaatan pengolahan citra dibidang kesehatan sangat membantu dokter dalam mendiagnosa penyakit pasiennya. Pada bidang ini citra diperoleh tidak hanya dari pencitraan panjang gelombang sinar tampak saja tetapi juga pencitraan dengan panjang gelombang yang lebih pendek atau lebih panjang. Hal ini memungkinkan organ dalam manusia dicitrakan lebih nyata.

Kemajuan penting pengolahan citra digital dalam bidang ini diawali dengan ditemukannya Tomografi terkomputerisasi (*Computerized Tomography/CT*). Peralatan ini diciptakan pada tahun 1972 oleh Godfrey Hounsfield dari Inggris dan Allan Cormack dari Amerika. Peralatan ini menjadi alat pencitraan medis yang penting yang digunakan untuk melengkapi pencitraan sinar X dan ultrasonography medis. Pengolahan citra digital pada bidang ini dapat digunakan untuk identifikasi penyakit dalam, identifikasi kelainan tulang, deteksi kanker, dan rekonstruksi citra janin.

c. Bidang Geografi

Aplikasi pengolahan citra di bidang ini terkait dengan ilmu penginderaan jauh di mana informasi penting mengenai sumber-sumber alam suatu wilayah dapat diperoleh melalui analisis citra terhadap citra satelit pada wilayah tersebut. Melalui pengolahan citra digital dapat pula diketahui perubahan kondisi suatu wilayah setelah dan sebelum terjadinya bencana.

Ini dapat digunakan untuk memperkirakan dampak yang ditimbulkan suatu bencana yang melanda suatu wilayah. Gambar 1.16 memperlihatkan kondisi suatu wilayah di Aceh sebelum dan setelah terjadinya bencana tsunami 26 Desember 2004.



(Sumber: https://inatews.bmkg.go.id/new/about_inatews.php?url=2)

Gambar 1.16 Citra Satelit Suatu Wilayah di Aceh Sebelum dan Sesudah Tsunami

d. Bidang Keamanan

Salah satu bidang yang sangat membutuhkan pengolahan citra digital adalah bidang keamanan. Perkembangan teknologi komputer yang sangat pesat memungkinkan pengolahan citra dilakukan secara cepat bahkan pengolahan video dapat dilakukan secara real time. Hal ini penting untuk mewujudkan sistem pengawasan keamanan yang otonom dimana gerakan seseorang yang mencurigakan ditandai dengan tanda tertentu yang terhubung dengan sistem peringatan otomatis. Sistem pengawasan keamanan semi otonom diperlihatkan pada gambar 1.17.

Aplikasi pengolahan citra yang lain yang berhubungan dengan bidang keamanan adalah pengenalan sidik jari, identifikasi tanda tangan, pengenalan wajah narapidana, pengenalan identitas melalui pola iris mata, dan lain-lain. Sidik jari, tanda tangan, pola wajah, dan pola iris mata merupakan data biometrik seseorang. Data biometrik bersifat unik artinya antara satu individu dengan individu lain memiliki pola yang berbeda. Semakin banyak individu yang ingin dikenali maka semakin besar pula

kebutuhan ruang penyimpanan data. Perkembangan memori yang sangat besar dan teknologi kompresi yang mampu memampatkan citra ke dalam file berukuran kecil memungkinkan menyimpan data dalam jumlah yang besar.



(Sumber: <http://www.seqsecurity.com/>)

Gambar 1.17 Sistem Pengawasan Keamanan Semi Otonom

e. Bidang hiburan

Tuntutan manusia mendapatkan hiburan berkualitas terutama di bidang perfilman menjadi salah satu alasan digunakannya teknologi pengolahan citra di bidang ini. Kualitas film sangat tergantung dengan resolusi video yang digunakan, semakin besar resolusinya maka semakin tinggi kualitas videonya. Konsekuensinya adalah semakin tinggi resolusinya maka semakin besar pula ukuran file videonya. Masalah ini diatasi dengan menggunakan teknologi pemampatan citra (*Joint Photographic Experts Group/JPEG*) atau video (*Moving Picture Experts Group/MPEG*) yang mengalami kemajuan cukup pesat.

Kebutuhan akan penggunaan teknologi pengolahan citra pada dunia perfilman juga dikarenakan alasan penekanan biaya dan penghematan waktu. Penggunaan teknologi layar hijau (*green screen*) menawarkan

kemudahan untuk memanipulasi latar belakangnya. Dengan memakai teknologi ini sebuah adegan film yang membutuhkan latar belakang yang luas dapat dilakukan di dalam studio yang berukuran kecil. Pemakaian teknologi layar hijau pada pembuatan film diperlihatkan pada Gambar 1.18.



(a) menggunakan layar hijau

(b) adegan yang tampak di filmnya

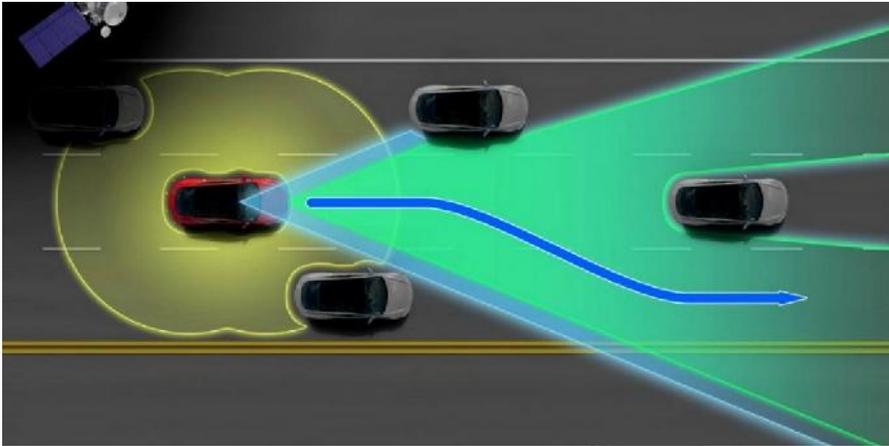
(Sumber: <http://filmstudies.info/genres/action.html>)

Gambar 1.18 Adegan dalam Film Avatar

f. Bidang Transportasi

Di bidang transportasi, pengolahan citra digunakan untuk mewujudkan sebuah kendaraan yang autopilot. Kendaraan autopilot milik Google menggunakan teknologi LIDAR (*Light Detection And Ranging*) sedangkan kendaraan listrik autopilot yang dikembangkan Tesla menggunakan kamera berteknologi tinggi dan 12 sensor ultrasonik jarak jauh digunakan untuk mendukung kamera 360°. Penggunaan kamera berteknologi tinggi digunakan untuk mengganti fungsi mata sebagai sensor. Ilustrasi penginderaan pada mobil listrik Tesla diperlihatkan pada Gambar 1.18.

Penggunaan kamera sebagai sensor parkir membantu pengemudi untuk mengenali objek yang berada di belakang kendaraannya. Pengenalan objek masih dilakukan secara manual sehingga membutuhkan kecermatan pengemudi. Teknik pengolahan citra dapat digunakan membantu pengemudi untuk mengenali objek secara otomatis.



(Sumber: <https://www.tesla.com/>)

Gambar 1.19 *Ilustrasi Mobil Listrik Tesla dalam Mengenali Keadaan di Sekitarnya*

-oo0oo-



BAB 2

DASAR-DASAR CITRA DIGITAL

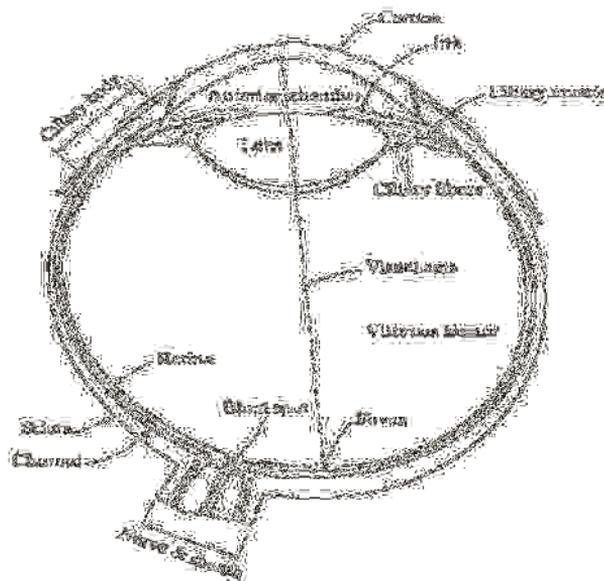
Objek pencitraan praktis mengandung informasi yang bersifat analog-kontinu. Representasi $f(x,y)$ untuk citra berarti nilai besar-kecil atau tinggi-rendah f sejalan atau analog dengan dengan nilai intensitas pancaran atau pantulan dari objek pencitraan. Sifat kontinu karena posisi setiap unsure atau elemen citra nyambung dari satu piksel ke piksel yang bertetangga. Namun dalam konteks pengolahan secara digital, yaitu dengan komputer, citra asli tersebut harus mengalami proses alihbentuk atau transformasi ke citra digital-diskret. Karena ada konsekuensi kehilangan sebagian informasi, maka perlu difahami secukupnya proses alihbentuk tersebut dan pertimbangan antara aspek kepraktisan dan kerugian yang mengait.

Citra digital merupakan sekumpulan piksel-piksel yang tersusun dalam larik dua dimensi, dimana titik asal $(0,0)$ berada di sebelah kiri atas citra. Kesepakatan peletakan titik asal ini merujuk pada cara penulisan matriks pada pemrograman komputer yang berbeda dengan peletakan pada koordinat grafik. Oleh karena citra digital berbentuk matriks maka pemanipulasiannya juga menggunakan kaidah matriks.

Bab ini membicarakan mengenai sistem visual manusia dalam menangkap sebuah citra, proses alihbentuk dari citra analog menjadi citra digital, dan sifat-sifat ketetanggaan piksel terkait proses manipulasinya untuk pengolahan citra.

2.1 Persepsi Sistem Visual Manusia

Sebelum menggunakan peralatan buatan, perlu dimengerti pula peralatan alami pengolahan citra objek melalui Sistem Penglihatan Manusia atau *Human Visual System* (HVS). Pertama mengenai mekanisme penangkapan citra objek melalui mata manusia secara fisis. Tampak pada Gambar 2.1 penampang bola mata manusia yang memperlihatkan bagian-bagian pentingnya.

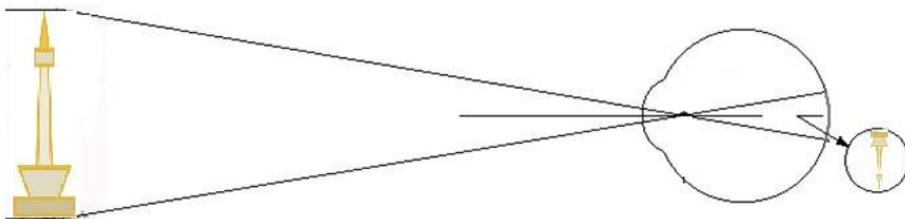


Gambar 2.1 *Tampang-Lintang Bola-Mata Manusia*

Mata dapat diibaratkan sebagai sebuah sensor, yang dapat menangkap objek dalam bentuk citra. Proses pembentukan citra oleh mata adalah sebagai berikut, sinar dari objek masuk melalui Pupil, yaitu lubang bulat di tengah Iris. Diameter lubang diatur oleh otot pada iris, yang secara otomatis melebar bila intensitas cahaya rendah dan sebaliknya mengecil untuk intensitas tinggi. Dengan demikian rentang energi optis yang diterima Retina sebagai sensor dipersempit, yang berarti rentang kepekaan terhadap rerata variasi intensitas cahaya dari objek diperluas. Namun, makin luas lubang tangkapan sinar, makin kurang resolusi atau ketajaman

citra yang diindera. Representasi dari pembentukan objek oleh mata ditunjukkan pada Gambar 2.2 dimana mata dan syaraf otak dapat menginterpretasi bayangan yang merupakan obyek pada posisi terbalik.

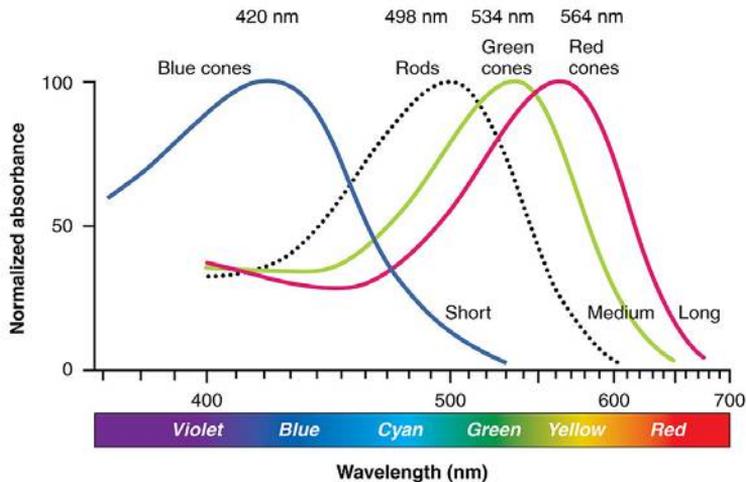
Unsur-unsur penginderaan terdapat di seluruh wilayah retina. Di wilayah ini terdapat sebaran reseptor (penerima cahaya), yang berfungsi sebagai Sensor atau Transduser pengubah isyarat syaraf. Sebaran syaraf terpadat di wilayah Fovea yang terbatas dan menjadi Pusat Pandangan. Dua macam Reseptor, yaitu yang berbentuk kerucut (*cone*), untuk intensitas cahaya tinggi dengan resolusi tinggi pula, dan berbentuk batang (*rod*) yang peka terhadap intensitas rendah dengan resolusi rendah pula. Bentuk ini berperan dalam memperoleh citra keabuan. Bentuk batang relatif panjang dan tipis sedangkan bentuk kerucut lebih pendek dan tebal dibanding bentuk batang.



Gambar 2.2 Representasi Mata Saat Melihat Objek

Jumlah Reseptor Kerucut antara 6 dan 7 juta yang terkonsentrasi di wilayah sudut pandang ± 8 derajat. Reseptor Batang berjumlah antara 75 hingga 150 juta dan tersebar di wilayah yang jauh lebih luas dan sebagian besar terangkai paralel dengan sejumlah syaraf tertentu. Reseptor ini berfungsi mendapatkan hasil pandangan secara menyeluruh, sedangkan secara detail oleh Reseptor Kerucut. Jadi Tanggapan atau Kepekaan terhadap Intensitas cahaya sangat tidak linear meskipun sudah ditampilkan pada skala logaritmik, serta terdiri atas dua liku atau kurva pandangan skotopik dari Reseptor Batang dan pandangan Fotopik dari Reseptor Kerucut. Bentuk kerucut dan bentuk batang berfungsi beriringan

di antara daerah skotopik dan fotopik dan menghasilkan penglihatan mesopik.



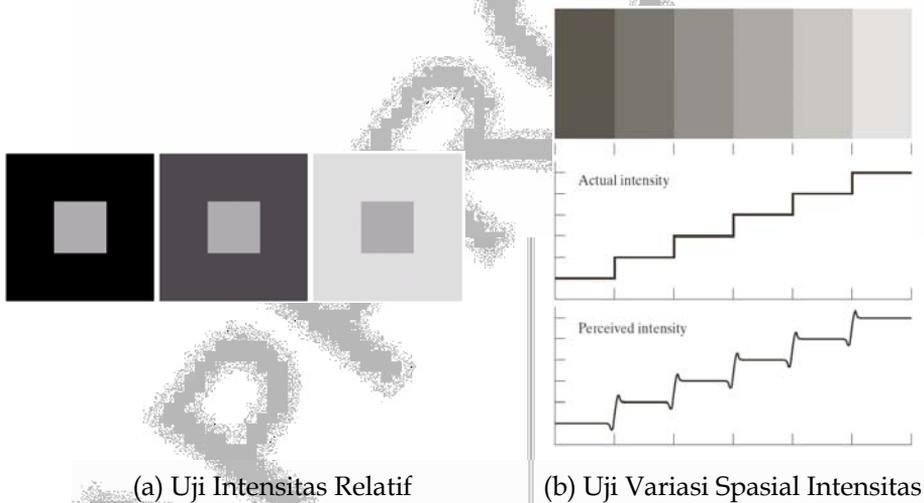
(Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Photoreceptor_cell)

Gambar 2.3 Penyerapan Fotoreseptor Manusia untuk Masing-masing Bentuk Kerucut

Terdapat tiga jenis bentuk kerucut, yaitu merah, hijau dan biru yang berfungsi masing-masing menangkap informasi warna. Bentuk kerucut memberikan persepsi berwarna dengan sangat detail. Ketiga bentuk kerucut ini memiliki pigmen fotosensitif masing-masing yang berbeda. Normalisasi penyerapan fotoreseptor manusia untuk panjang gelombang cahaya yang berbeda diperlihatkan pada Gambar 2.3.

Meskipun Resolusi Pencitraan oleh Sistem Penglihatan Manusia sangat tidak merata karena Pusat Pandangan dapat berpindah-pindah sesuai Pusat Perhatiannya, Citra hasil perolehan melalui sarana buatan harus merata tingkat resolusinya. Meski demikian, bila Pengolahan Citra bermaksud untuk menonjolkan informasi di sebagian wilayah bingkai citra, Resolusi harus meningkat di bagian pusat perhatian dan dapat diturunkan di luarnya.

Kekhasan Tanggapan Sistem Penglihatan Manusia, yang tidak seragam dalam aspek intensitas maupun spasial, didemonstrasikan dalam Kesan Pandangan atau Persepsi terhadap dua contoh Model Pola Citra pada Gambar 2.4. Kemampuan mata dalam membedakan tingkat intensitas yang berbeda merupakan pertimbangan penting dalam menampilkan hasil pengolahan gambar. Dari percobaan diketahui bahwa kecerahan subyektif (tingkat kecerahan yang dapat ditangkap sistem visual manusia) berupa fungsi logaritmik dari intensitas cahaya yang masuk mata. Fenomena penyesuaian mata manusia dalam membedakan perubahan halus tingkat kecerahan disebut dengan adaptasi kecerahan (*Brightness Adaptation*). Tingkat kecerahan yang mampu dibedakan secara sekaligus oleh mata manusia memiliki daerah yang lebih kecil dibandingkan dengan daerah tingkat kecerahan sebenarnya.



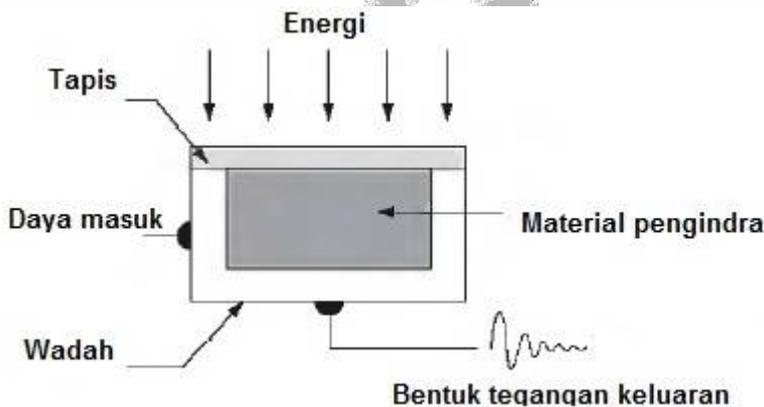
Gambar 2.4 Model Pola Citra

2.2 Sarana Perolehan Citra

Diawali dengan Unit Pengindera atau Sensor yang mengubah isyarat cahaya atau optis menjadi isyarat elektrik, diperlihatkan pada Gambar 2.5. Kemudian dilewatkan ke Unit Pengondisi isyarat agar keluaran memenuhi suatu standar aras atau level amplitude, impedans, dan bidang frekuensi

tertentu. Keluaran unit ini dapat langsung dihubungkan ke sarana Pencetak (Printer) untuk mendapatkan hardcopy, atau diminat ke Sarana Penyimpan atau langsung ke Sarana Pengolahan Citra.

Secara umum, sensor dibedakan menjadi dua jenis yaitu jenis *Charge-coupled device (CCD)* dan *Complementary metal-oxide semiconductor (CMOS)*. Keunggulan jenis CCD adalah memiliki resolusi yang tinggi dan kemampuan perekaman citra pada lokasi minim cahaya sedangkan keunggulan CMOS adalah bentuknya kecil, ringan dan kecepatan proses lebih responsif. Terdapat 3 macam sensor yang dapat digunakan untuk mem-peroleh suatu citra yaitu sensor tunggal, sensor garis, dan sensor larik.



Gambar 2.5 Sensor Pencitraan Tunggal

Sensor tunggal dapat digunakan untuk mendapatkan citra 2D dengan cara memindahkan secara relatif disetiap sumbu x dan y antara objek dan sensor. Karena hanya memerlukan satu sensor maka metode ini murah jika diaplikasikan tetapi membutuhkan waktu yang lama untuk mendapatkan sebuah citra. Metode sensor garis mengambil data citra menggunakan deretan sensor yang dipasang membentuk satu baris sehingga dapat melakukan akuisisi data pada sumbu x secara bersamaan. Sensor digerakkan sepanjang sumbu y untuk mendapatkan citra secara keseluruhan. Peralatan yang menggunakan metode ini adalah *scanner*. Metode terakhir adalah metode sensor larik di mana sensor disusun

membentuk matrik. Peralatan yang menggunakan metode ini adalah kamera digital. Pada metode ini sensor akan menangkap setiap iluminasi yang dipantulkan oleh objek dan diproyeksikan ke dalam bidang citra. Keunggulan metode ini adalah segi kecepatan akuisisi data citra.

Hasil akuisisi citra kemudian dapat disimpan pada sarana penyimpanan dalam berupa penganget atau memori dan penyimpanan luar dapat berwujud cakram kompak (CD), *flashdisc*, atau *harddisc*. Pengolah citra terdiri atas perangkat-keras (komputer) dan perangkat-lunak yang sesuai kebutuhan. Untuk ditransfer atau dikirim ke tempat lain, diperlukan saluran komunikasi melalui kawat, kabel koaksial, serat optis, maupun gelombang elektromagnetik. Diagram blok sistem perolehan data citra diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Diagram Blok Sistem Perolehan Data Citra

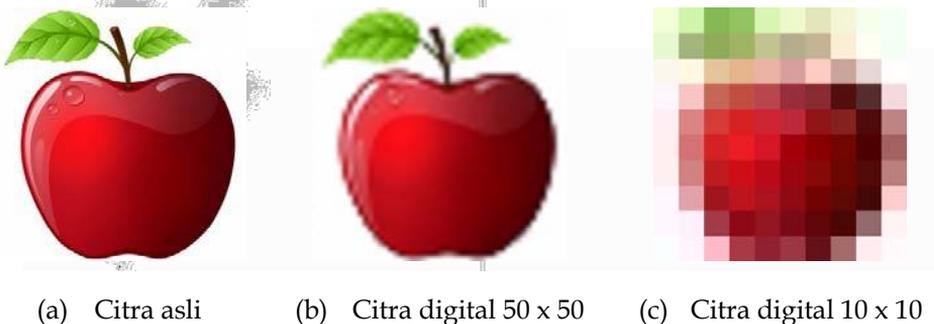
2.2.1 Pendigitalan Citra

Pendigitalan citra merupakan proses mengubah dari citra analog yang kontinyu menjadi citra digital yang diskret. Proses ini diperlukan karena agar dapat diproses menggunakan komputer maka citra harus dinyatakan secara numerik dan bernilai diskrit. Secara garis besar proses pendigitalan citra terbagi menjadi dua proses yaitu pencuplikan (*sampling*) dan kuantisasi (*quantization*). Kedua proses ini sangat berpengaruh pada hasil citra digital yang dihasilkan. Proses pencuplikan dilakukan dengan membagi citra asli ke dalam grid-grid berbentuk bujur sangkar pada arah horizontal dan vertical, sedangkan proses kuantisasi membagi intensitas citra asli menjadi citra dengan intensitas yang ditentukan. Proses

pendigitalan ini mengakibatkan penurunan kualitas penampilan objek dalam citra dibanding dengan penampilan objek aslinya.

Penurunan kualitas ini sangat dipengaruhi oleh nilai pencuplikan dan kuantisasi yang ditetapkan. Semakin rendah nilai pencuplikan yang ditetapkan maka citra digital terlihat bergerigi artinya secara spasial terdapat informasi yang hilang. Gambar 2.7 memperlihatkan hasil proses pencuplikan dari citra asli menjadi citra digital dengan resolusi 50×50 dan 10×10 . Proses kuantisasi berpengaruh pada citra menjadi tidak tampak alami karena batas-batas gradasi warna atau aras keabuan menjadi terlihat jelas artinya citra mengalami penurunan kualitas dari segi intensitasnya. Gambar 2.8 memperlihatkan penurunan kualitas citra yang disebabkan proses kuantisasi.

Hasil pendigitalan citra akan semakin mirip aslinya jika dilakukan dengan pengambilan nilai pencuplikan dan kuantisasi yang tinggi. Selain itu juga berakibat pada penurunan nilai informasi yang hilang pada citra. Konsekuensinya adalah memori yang dibutuhkan untuk menyimpan data citra juga akan semakin besar. Dengan semakin murahnya harga memori dan perkembangan kapasitas memori yang sangat pesat, hal ini tidak menjadi masalah lagi. Beberapa bidang aplikasi pengolahan citra membutuhkan kualitas citra yang tinggi untuk memenuhi hasil analisis yang lebih akurat.



(a) Citra asli

(b) Citra digital 50×50 (c) Citra digital 10×10

Gambar 2.7 Citra Digital Hasil Proses Pencuplikan Citra Asli



Gambar 2.8 Citra Digital Hasil Proses Kuantisasi 8 Bit dan 4 Bit

2.2.2 Ukuran dan Resolusi Citra

Citra digital umumnya berbentuk persegi panjang dengan dimensi tinggi x lebar ($N \times M$). N menyatakan jumlah baris sedangkan M menyatakan jumlah kolom pada matrik citra. Secara matematis citra digital dapat diungkapkan dalam bentuk matrik seperti diperlihatkan pada persamaan 2.1. Masing-masing elemen dari larik matriks ini disebut elemen citra, elemen gambar, piksel atau pel.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, M - 1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, M - 1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(N - 1,0) & f(N - 1,1) & \dots & f(N - 1, M - 1) \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Resolusi citra menyatakan jumlah baris atau kolom elemen citra (piksel) per satuan pengukuran, misalnya *dot per inch (dpi)* yaitu menyatakan banyak piksel setiap jarak satu inchi. Pada kebanyakan kasus, resolusi citra adalah sama di arah horisontal dan vertikal. Resolusi citra juga menyatakan tingkat detail suatu citra. Resolusi citra berbanding lurus dengan detail suatu citra yaitu semakin tinggi resolusi citra semakin tinggi juga detail suatu citra.

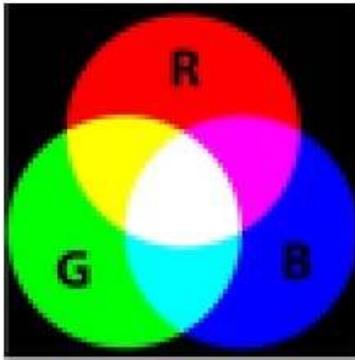
Informasi dalam elemen citra tergantung pada tipe data yang digunakan untuk menyatakannya. Nilai piksel secara praktis selalu bilangan biner dengan panjang k jadi piksel dapat mewakili nilai beda 2^k .

Nilai k disebut juga kedalaman bit (*bit depth*) dari citra. Susunan skala bit yang tepat dari piksel tunggal tergantung pada jenis citra, sebagai contoh citra biner, citra aras keabuan, atau warna RGB.

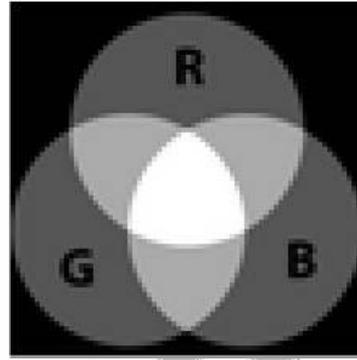
Data citra dalam citra aras keabuan terdiri dari kanal tunggal yang mewakili intensitas, kecerahan atau densitas citra. Nilainya berupa bilangan bulat positif antara $0-2^k-1$. Misalnya citra aras keabuan memiliki kedalaman bit 8 maka nilai intensitas pikselnya dalam jangkauan dari $0-255$, di mana 0 mewakili hitam (kecerahan minimum) dan 255 menyatakan putih (kecerahan maksimum).

Untuk beberapa aplikasi, misalnya bidang kedokteran, astronomi dan fotografi profesional kedalaman 8 bit per piksel tidaklah cukup. Oleh karena itu, kadang ditemui citra yang memiliki kedalaman bit 12, 14, 16 bahkan 24 bit. Misalnya citra warna RGB dikodekan dengan kedalaman 8 bit per kanalnya. Karena citra RGB membutuhkan 3 kanal untuk membentuk sebuah citra maka untuk sebuah piksel dikodekan dalam 24 bit. Oleh karena itu, citra RGB dapat menyatakan warna sebanyak 2^k . Sedangkan citra dengan kedalaman 12 bit per kanal akan membutuhkan 36 bit per pikselnya.

Citra yang memiliki kedalaman 1 bit disebut dengan citra biner. Setiap pikselnya dikodekan dalam 1 bit sehingga hanya terdiri dari dua kemungkinan, yaitu 0 untuk hitam dan 1 untuk putih. Citra biner biasanya didapati pada citra hasil pendeteksian tepi. Sedangkan pada citra warna, pembentukan warna kebanyakan didasarkan pada perpaduan warna primer yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*) yang biasanya memiliki kedalaman 8 bit per kanalnya. Gambar 2.9 memperlihatkan warna primer pada cahaya tampak. Saat ini terdapat citra warna yang menggunakan lebih dari tiga kanal untuk menyatakan warna piksel, misalnya citra yang didasarkan pada RGB α dimana α menyatakan tingkat transparansi citra. Pada citra ini dimungkinkan sebuah citra yang memiliki latar belakang transparan sehingga citra tidak terlihat persegi panjang lagi, misalnya citra logo suatu instansi.



(a) Asli



(b) Hasil transformasi aras keabuan

Gambar 2.9 Warna Primer

Citra terindeks atau palet merupakan kelas istimewa dari citra warna. Perbedaannya dengan citra warna RGB adalah jumlah warna yang dipergunakan berbeda, jumlah warna citra terindeks lebih sedikit yaitu 256 warna sehingga kedalaman citranya adalah 8 bit. Nilai pikselnya merupakan indeks yang mengacu ke tabel warna. Tentu saja kualitas citra warna terindeks tidak sebagus citra warna RGB tetapi dalam penyimpanan ke dalam file membutuhkan ruang penyimpanan yang lebih kecil.

2.3 Hubungan Ketetanggaan Antar Piksel

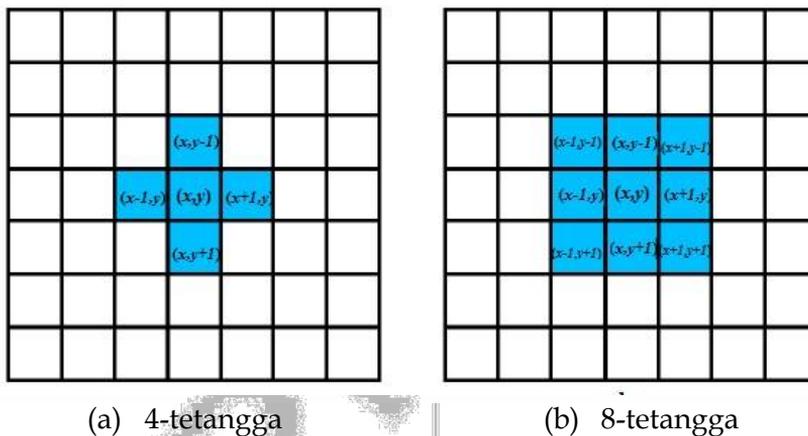
Piksel-piksel pada citra membentuk suatu matrik tertentu yang pengolahannya nantinya dapat melibatkan piksel-piksel yang terletak disekitar piksel tersebut. Piksel-piksel yang berdekatan ini dapat dikatakan piksel yang bertetangga. Operasi ketetanggaan piksel memainkan peran penting dalam pengolahan citra modern.

2.3.1 Tetangga Piksel

Jika suatu piksel p pada koordinat (x,y) memiliki empat tetangga horizontal dan vertical yang koordinatnya diperlihatkan pada Gambar 2.10a. Sekumpulan piksel tersebut disebut 4- tetangga dari p dan dinotasikan dengan $N_4(p)$. Masing-masing piksel merupakan unit jarak dari (x,y) dan

beberapa tetangga dari p berada di luar citra digital jika (x,y) berada pada ujung batas citra.

Jika selain 4-tetangga tersebut piksel p memiliki 4 tetangga diagonal yang koordinatnya diperlihatkan pada Gambar 2.10b dinotasikan dengan $N_D(p)$ maka 4-tetangga diagonal ini bersama dengan 4-tetangga sebelumnya disebut dengan 8-tetangga dari p dan dinotasikan dengan $N_8(p)$. Beberapa tetangga dari p berada di luar citra digital jika (x,y) berada pada ujung batas citra.



Gambar 2.10 Tetangga Piksel

2.3.2 Pengukuran Jarak

Tiga buah piksel p,q , dan z dengan masing-masing koordinat secara berturut-turut adalah (x,y) , (s,t) , dan (v,w) , D adalah fungsi jarak atau metric jika

- $D(p,q) \geq 0$ $D(p,q) = 0$ jika $p = q$
- $D(p,q) = D(q,p)$
- $D(p,z) \leq D(p,q) + D(q,z)$

Jarak *Euclidean* antara p dan q dinyatakan dengan Persamaan (2.2)

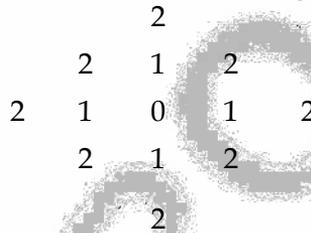
$$D_e(p,q) = [(x-s)^2 + (y-t)^2]^{1/2} \quad (2.2)$$

Untuk pengukuran jarak ini, piksel memiliki jarak lebih kecil atau sama dengan suatu nilai r dari (x,y) , titik terdapat dalam piringan dengan jari-jari r berpusat di (x,y) .

Jarak D_4 (Jarak *city-block*) antara titik p dan q dinyatakan dengan Persamaan (2.3)

$$D_4(p, q) = |x - s| + |y - t| \tag{2.3}$$

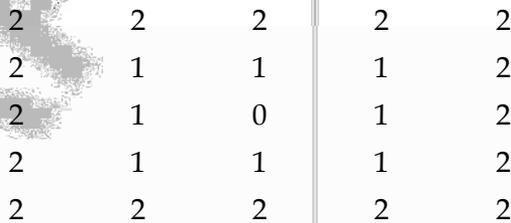
Piksel memiliki jarak D_4 dari (x,y) kurang atau sama dengan beberapa nilai r berbentuk jajaran genjang dengan pusat di (x,y) . Contoh, piksel-piksel dengan jarak $D_4 \leq 2$ dari (x,y) seperti diperlihatkan kontur berikut:



Piksel dengan $D_4 = 1$ adalah 4-tetangga dari (x,y) . Jarak D_8 (Jarak papan catur/*chessboard*) antara titik p dan q dinyatakan dengan persamaan

$$D_8(p, q) = \max(|x - s|, |y - t|) \tag{2.4}$$

Contoh, piksel-piksel dengan jarak $D_8 \leq 2$ dari (x,y) seperti diperlihatkan kontur berikut:



Piksel dengan $D_8 = 1$ adalah 8-tetangga dari (x,y) .

APPROVAL

BAB 3

TRANSFORMASI INTENSITAS DAN PENAPISAN

Transformasi intensitas dan penapisan daerah spasial merupakan dua kategori dasar pada pemrosesan citra pada daerah spasial. Daerah spasial mengacu pada bidang citra itu sendiri dimana proses pemanipulasian piksel dilakukan secara langsung di dalam sebuah citra tanpa mentransformasikan citra ke daerah alihragam. Transformasi intensitas beroperasi pada piksel tunggal pada suatu citra sedangkan pemfilteran citra bekerja pada lingkungan tetangga setiap piksel sebuah citra.

Bab ini membicarakan mengenai teknik-teknik transformasi intensitas dan penapisan daerah spasial yang dapat digunakan untuk memanipulasi citra menjadi sebuah citra yang lebih diinginkan. Transformasi intensitas dan penapisan pada daerah spasial digunakan untuk melakukan perbaikan kualitas citra. Maksud perbaikan kualitas citra adalah proses mendapatkan citra yang diinginkan agar lebih mudah diinterpretasikan oleh manusia. Tujuan dari proses ini adalah lebih memperjelas kemunculan ciri-ciri yang terdapat di dalam sebuah citra. Secara matematis, peningkatan kualitas citra merupakan proses mengubah citra $f(x, y)$ menjadi $f'(x, y)$ sehingga ciri-ciri yang ada pada $f(x, y)$ lebih menonjol.

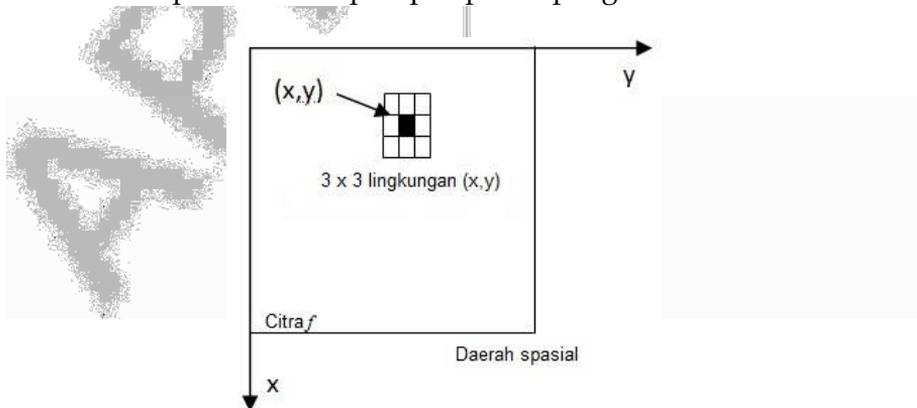
Proses ada domain spasial dinyatakan secara matematis dengan persamaan:

$$g(x, y) = T[f(x, y)] \quad (3.1)$$

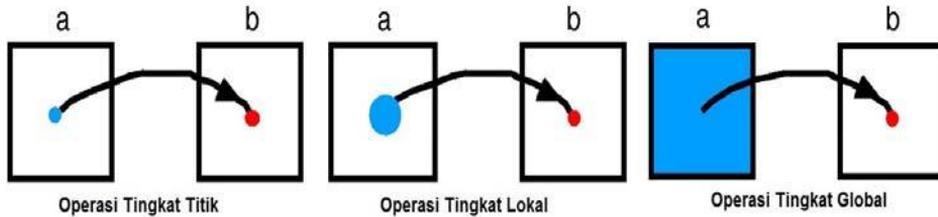
Di mana T adalah operator, $f(x,y)$ adalah citra masukan, dan $g(x,y)$ adalah citra keluaran. Operator dapat dipakai untuk sebuah citra tunggal atau sekumpulan citra. Gambar 3.1 memperlihatkan penerapan dasar dari Persamaan (3.1) pada sebuah citra tunggal. Titik (x,y) menunjukkan sebuah lokasi sembarang pada citra dan daerah kecil yang berisi titik (x,y) menunjukkan lingkungan tetangga dari titik (x,y) . Biasanya lingkungan tetangga berbentuk persegi dengan titik pusat di (x,y) .

3.1 Operasi Dasar Pengolahan Citra Digital

Telah diketahui bahwa sebuah citra digital dinyatakan dengan sebuah matriks, dimana x dan y menyatakan posisi piksel berdasarkan kolom dan barisnya serta nilai komponen elemen matriks menyatakan intensitasnya. Karena citra digital merupakan sebuah matriks maka proses manipulasi pikselnya adalah dengan cara memanipulasi elemen-elemen matriks. Proses manipulasinya dapat berupa hanya elemen tunggal matriks, sekumpulan elemen matriks atau berdasarkan seluruh elemen matriks. Gambar 3.2 memperlihatkan tipe-tipe operasi pengolahan citra.



Gambar 3.1 Lingkungan 3x3 dari Sebuah Titik (x,y) pada Citra dalam Daerah Spasial



Gambar 3.2 Ilustrasi Berbagai Tipe Operasi Pengolahan Citra

Berdasarkan proses manipulasi elemen citra maka pengolahan citra dapat dikelompokkan menjadi tiga tingkat operasi, yaitu:

1. Operasi Tingkat Titik

Operasi tingkat titik adalah operasi pengolahan citra yang dilakukan pada piksel tunggal pada sebuah citra. Pada operasi ini, piksel pada lokasi yang dikehendaki dimodifikasi dengan operasi yang ditentukan dan hasilnya yang berupa nilai piksel baru ditempatkan pada lokasi yang bersesuaian di dalam citra yang baru. Operasi ini dilakukan untuk keseluruhan piksel di dalam citra.

Operasi tingkat titik dibagi menjadi tiga macam operasi, yaitu operasi tingkat titik berdasarkan intensitas, operasi titik berdasar geometri, dan operasi titik berdasar gabungan antara intensitas dan geometri. Pada operasi titik berdasar intensitas, hasil citra baru berupa citra serupa tetapi dengan intensitas masing-masing piksel berubah. Sedangkan pada operasi titik berdasar geometri, hasil citra baru adalah citra serupa tetapi dengan posisi piksel yang berubah. Contoh aplikasi operasi ini adalah pengaturan kecerahan citra, binerisasi, pengaturan kontras, pencerminan citra, dan lain-lain.

2. Operasi tingkat Lokal

Operasi tingkat lokal adalah operasi pengolahan citra yang dilakukan pada piksel yang dikehendaki dan dipengaruhi oleh intensitas piksel tetangganya. Pada operasi ini, piksel yang dikehendaki dimodifikasi menggunakan operasi dimana tetangga piksel tersebut memberikan pengaruh terhadap nilai yang dihasilkan dari operasi. Nilai baru ini ditempatkan pada lokasi yang bersesuaian di dalam citra yang baru

dan dilakukan untuk keseluruhan piksel pada citra. Contoh aplikasi dari operasi ini adalah pelembutan dan penajaman citra.

3. Operasi tingkat Global

Operasi tingkat global adalah operasi pengolahan citra yang dilakukan pada suatu piksel untuk menghasilkan nilai piksel baru pada lokasi yang bersesuaian dan penentuan nilai baru ini dipengaruhi oleh nilai intensitas seluruh piksel pada citra. Contoh aplikasi operasi ini adalah operasi perataan histogram.

3.2 Transformasi Intensitas

Transformasi intensitas merupakan teknik paling sederhana dalam pengolahan citra. Operasi ini termasuk ke dalam operasi preprocessing yaitu langkah awal dalam pengolahan citra. Terdapat tiga tipe fungsi yang sering digunakan dalam operasi peningkatan kualitas citra, yaitu linear (transformasi negative dan identitas), logaritmik (transformasi log dan invers log), dan hukum pangkat (transformasi pangkat ke n atau akar ke n).

Telah dijelaskan bahwa transformasi intensitas beroperasi pada piksel tunggal pada suatu citra atau dengan kata lain merupakan operasi tingkat titik berdasarkan intensitas. Nilai intensitas $f(x,y)$ suatu pixel diubah dengan transformasi T menjadi nilai intensitas baru $f(x,y)'$ menggunakan Persamaan 3.1. Dimana nilai $f(x,y)'$ merupakan nilai intensitas baru pada citra baru pada posisi sama dengan piksel $f(x,y)$.

3.2.1 Operasi Pengambangan (*Thresholding*)

Operasi pengambangan memetakan masing-masing nilai intensitas pixel ke salah satu dari dua nilai, a_1 atau a_2 , berdasarkan nilai ambang T (threshold). Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan

$$f(x, y)' = \begin{cases} a_1 & f(x, y) < T \\ a_2 & f(x, y) \geq T \end{cases} \quad (3.2)$$

Di mana $f(x,y)'$ adalah intensitas baru di posisi (x,y) , $f(x,y)$ adalah intensitas piksel yang lama di posisi (x,y) , sedangkan T adalah nilai

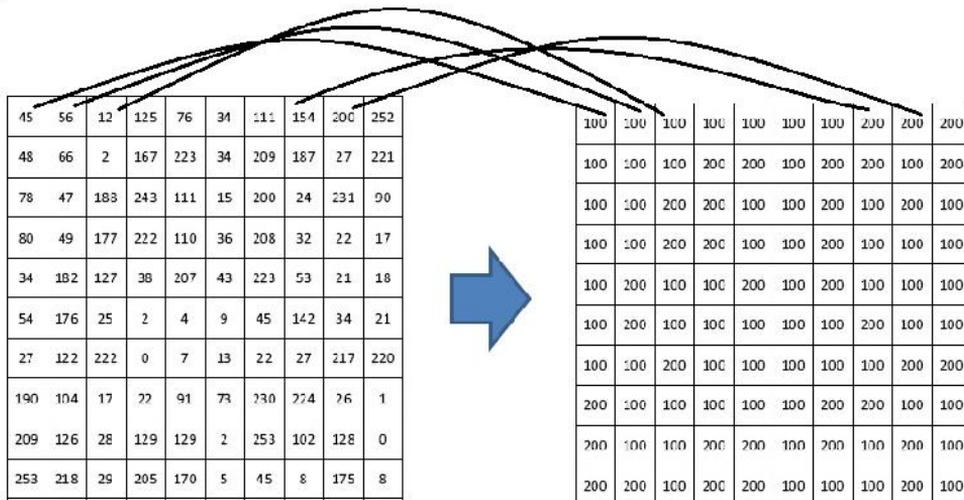
ambang. Sebagai contoh sebuah citra berukuran 10 x 10 (Gambar 3.3) dilakukan operasi pengambangan dengan $a_1= 100$ dan $a_2 = 200$ dan nilai ambangnya $T =128$. Gambar 3.3 memperlihatkan hasil operasi pengambangan.

Jika nilai $a_1= 0$ atau $a_2 = 1$ maka operasi ini berubah menjadi operasi binerisasi yang menghasilkan citra biner, dimana intensitas piksel citra lama dipetakan ke dalam citra baru yang berintensitas 0 (hitam) dan 1 (putih). Nilai ambang ini dapat diterapkan ke seluruh piksel citra atau hanya untuk wilayah tertentu saja. Gambar 3.4 memperlihatkan hasil proses binerisasi dari citra Lena dengan $T = 128$.

3.2.2 Operasi Negatif

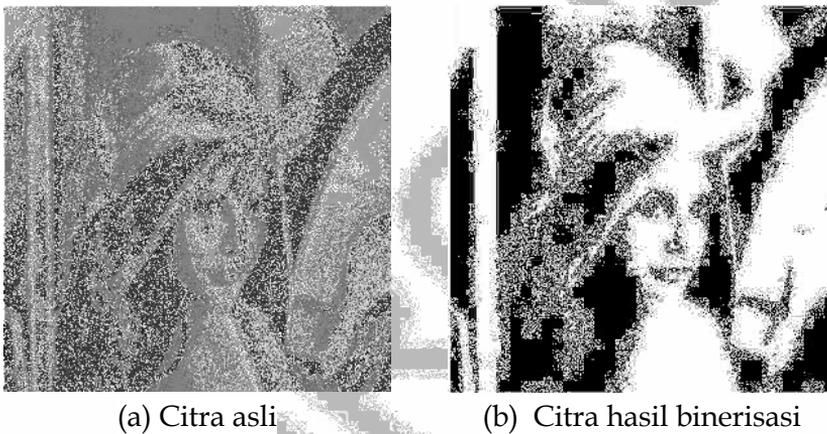
Operasi negatif merupakan operasi untuk mendapatkan citra negatif (negative image) yaitu meniru film negatif pada fotografi dengan cara mengurangi nilai intensitas pixel dari nilai keabuan maksimum. Secara matematis citra negatif dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.3)

$$f(x, y)' = (2^k - 1) - f(x, y) \tag{3.3}$$

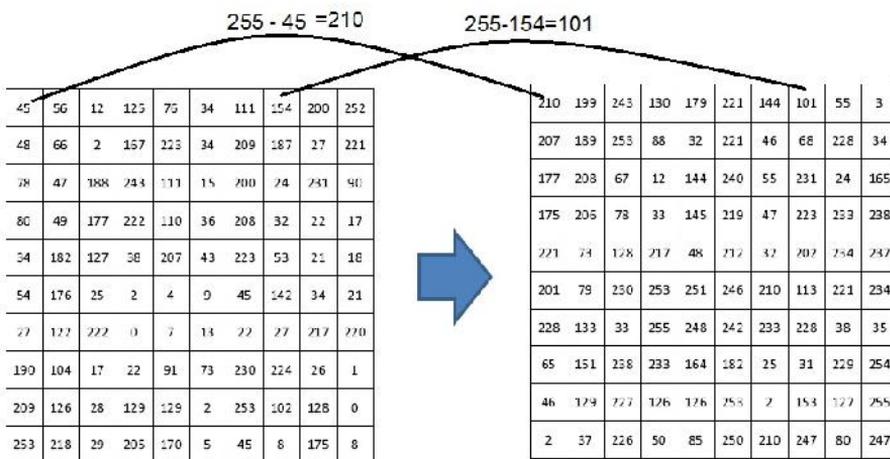


Gambar 3.3 Proses Pengambangan dengan $T =128$

Di mana k adalah kedalaman bit citra. Gambar 3.4 merupakan contoh citra berukuran 10×10 dengan kedalaman 8 bit yang dilakukan operasi negatif. Dan Gambar 3.5 memperlihatkan hasil operasi negatif pada citra Lena. Proses ini dapat juga diterapkan pada citra warna dimana citra ini terdiri dari 3 kanal warna. Proses penegatifan pada citra warna dilakukan per kanal, Gambar 3.6 memperlihatkan hasil proses negatif pada citra Lena 255.



Gambar 3.4 Operasi Binerisasi



Gambar 3.5 Proses Operasi Negatif



(a) Citra asli



(b) citra negatif hasil operasi

Gambar 3.6 Proses Operasi Negatif



(a) Citra asli



(b) citra negatif hasil operasi

Gambar 3.7 Proses Operasi Negatif Pada Citra Warna

3.2.3 Operasi Pencerahan Citra (Image Brightening)

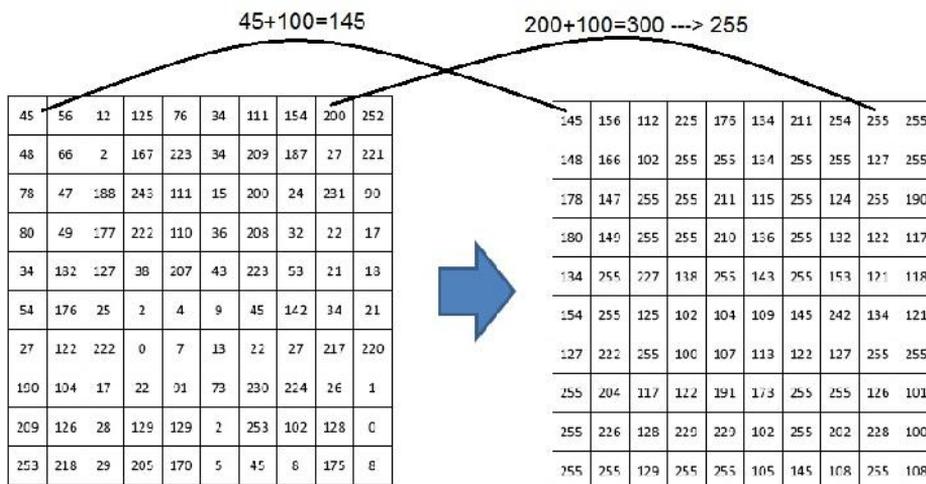
Kecerahan citra dapat diperbaiki dengan menambahkan (atau mengurangi) sebuah konstanta ke setiap pixel di dalam citra. Secara matematis dinyatakan dalam Persamaan (3.4):

$$f(x, y)' = f(x, y) + c \quad (3.4)$$

Di mana c adalah konstanta. Jika c bernilai positif maka citra akan tampak lebih terang tetapi jika c bernilai negative maka citra akan tampak gelap. Pada operasi ini dimungkinkan hasil operasi melebihi atau lebih kecil daripada nilai batas. Jika hal tersebut terjadi maka operasi ini digabungkan dengan operasi lain yaitu operasi pemotongan (*clipping*) sehingga piksel citra tetap berada jangkauan nilainya. Operasi pemotongan secara matematis dinyatakan dengan Persaman (3.5)

$$f(x, y) = \begin{cases} 2^k - 1 & f(x, y) > 2^k - 1 \\ f(x, y) & 0 < f(x, y) < 2^k - 1 \\ 0 & f(x, y) < 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

Gambar 3.8 memperlihatkan pencerahan citra pada citra 8 bit berukuran 10 x 10 dengan $c = 100$ dan Gambar 3.9 memperlihatkan proses pencerahan citra pada citra Lenna dengan $c = 50$ dan -50 .



Gambar 3.8 Proses Operasi Pencerahan Citra



(a) citra asli

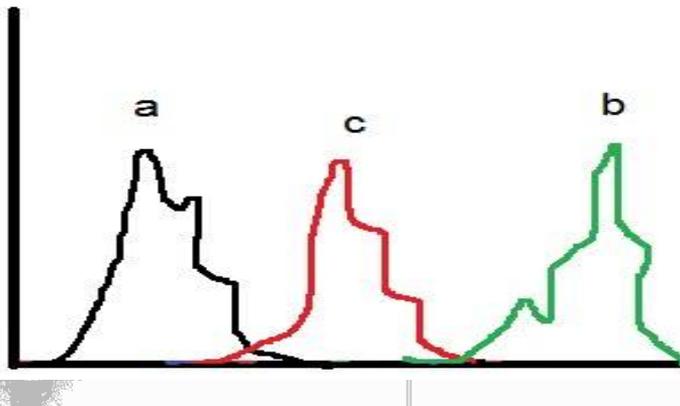
(b) hasil pencerahan dengan $c=50$

(c) hasil pencerahan dengan $c=-50$

Gambar 3.9 Proses Pencerahan Citra

3.2.4 Operasi Peregangan Kontras (Contrast stretching)

Sebaran gelap (*darkness*) dan terang (*lightness*) di dalam sebuah citra disebut dengan kontras. Berdasarkan sebaran gelap dan terang ini citra dikelompokkan ke dalam tiga kategori: citra kontras-rendah (*low contrast*), citra kontras-bagus (*good contrast*), dan citra kontras-tinggi (*high contrast*).



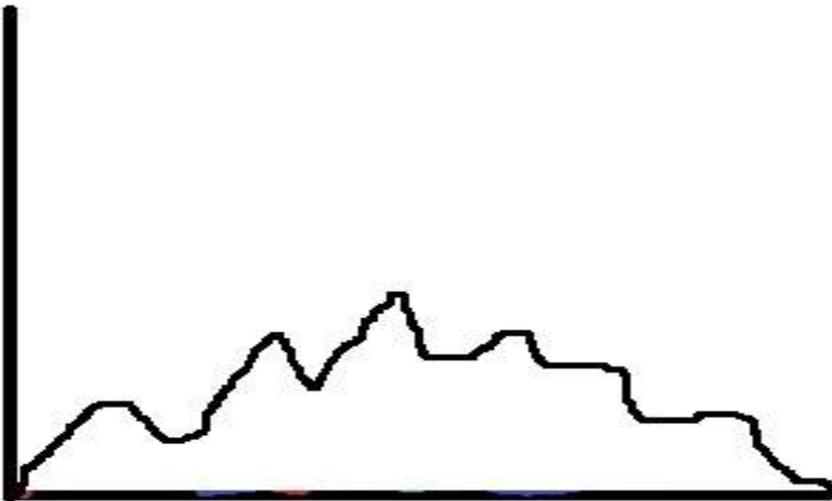
Gambar 3.10 Histogram Citra Berkontras Rendah (a) Cenderung Gelap, (b) Cenderung Terang, (c) Tidak Terlalu Gelap dan Terang

Ciri citra berkontras rendah adalah komposisi citranya sebagian besar terang atau gelap. Jika dilihat dari histogram citranya terlihat sebagian besar tingkat keabuannya terkumpul (clustered) bersama. Jika terkumpul

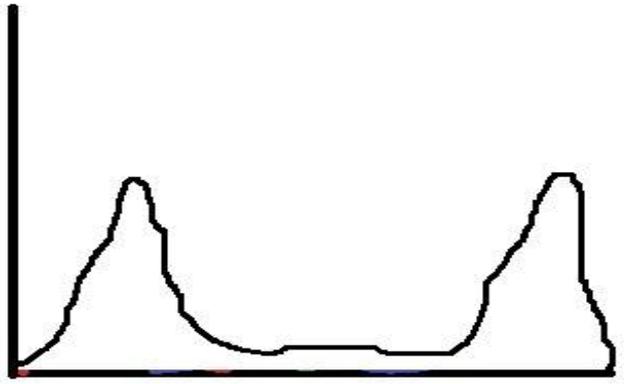
di bagian kiri maka citranya cenderung gelap. Jika mengelompok di bagian kanan maka citranya cenderung terang. Citra tergolong kontras-rendah meskipun tidak terlalu terang atau gelap jika pengelompokan nilai keabuan berada di tengah histogram. Histogram citra berkontras rendah diperlihatkan pada Gambar 3.10.

Citra kontras-bagus memiliki jangkauan nilai keabuan yang lebar tanpa ada dominasi dari suatu nilai keabuan. Histogram citranya menampilkan sebaran nilai keabuan yang relatif seragam. Gambar 3.11 memperlihatkan histogram citra berkontras bagus.

Pada citra berkontras-tinggi, jangkauan nilai keabuan yang dimiliki lebar akan tetapi terdapat area yang lebar yang didominasi oleh warna terang dan warna gelap. Pada citra berkontras-tinggi, histogramnya terlihat memiliki dua puncak yaitu pada area nilai keabuan yang tinggi (terang) dan pada area nilai keabuan yang rendah. Gambar 3.12 memperlihatkan histogram citra yang memiliki kontras tinggi. Contoh citra yang memiliki kontras tinggi yaitu jika terdapat sekelompok orang dengan pakaian yang gelap berfoto di depan latar belakang yang terang.



Gambar 3.11 Histogram Citra Berkontras Bagus



Gambar 3.12 Histogram Citra Berkontras Tinggi

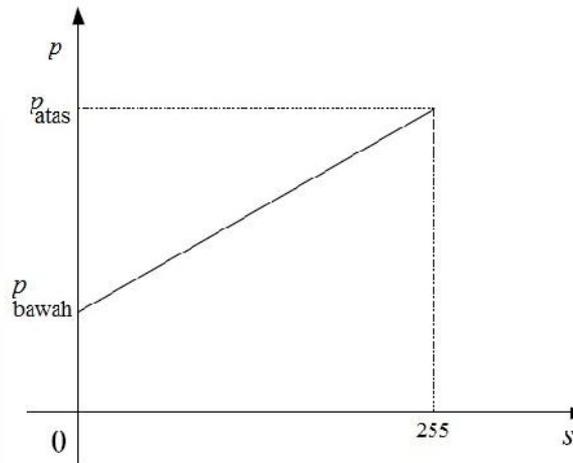
Menggunakan operasi peregangan kontras kualitas sebuah citra dengan kontras-rendah dapat diperbaiki menjadi citra yang memiliki kontras lebih baik. Menggunakan operasi ini, sebaran gelap terang yang tidak merata dapat direntang dari 0 sampai 255 sehingga seluruh nilai keabuan pixel dapat terpakai secara merata.

Urutan langkah-langkah peregangan kontras adalah:

1. Tentukan nilai intensitas piksel terendah sebagai batas bawah pengelompokan piksel.
2. Tentukan nilai intensitas piksel tertinggi sebagai batas atas pengelompokan piksel.
3. Piksel-piksel yang berada di bawah batas bawah di set ke 0, sedangkan piksel-piksel yang berada di atas batas atas di set ke 2^k-1 .
4. Pixel-pixel yang berada di antara nilai batas bawah dan nilai batas atas dipetakan untuk memenuhi rentang nilai-nilai keabuan yang lengkap (0 sampai 2^k-1) dengan persamaan

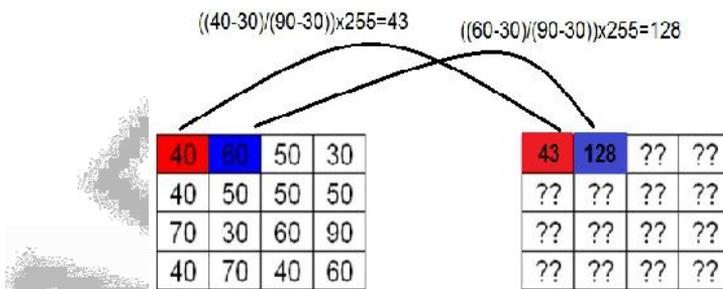
$$S = \frac{P - P_{bawah}}{P_{atas} - P_{bawah}} \times (2^k - 1) \quad (3.6)$$

Di mana p adalah nilai intensitas citra semula, s adalah nilai intensitas citra yang baru, p_{bawah} adalah intensitas piksel batas bawah, dan p_{atas} adalah intensitas piksel batas atas. Gambar 3.13 memperlihatkan grafik pemetaan peregangan kontras.



Gambar 3.13 Pemetaan Intensitas Piksel pada Peregangan Kontras

Ilustrasi peregangan kontras diperlihatkan pada Gambar 3.14, dengan diketahui batas bawahnya adalah 30 dan batas atasnya adalah 90, sebuah citra 8 bit dengan ukuran 4 x 4 piksel dilakukan operasi peregangan kontras.



Gambar 3.14 Ilustrasi Peregangan Kontras

3.2.5 Transformasi Citra Warna ke Aras Keabuan

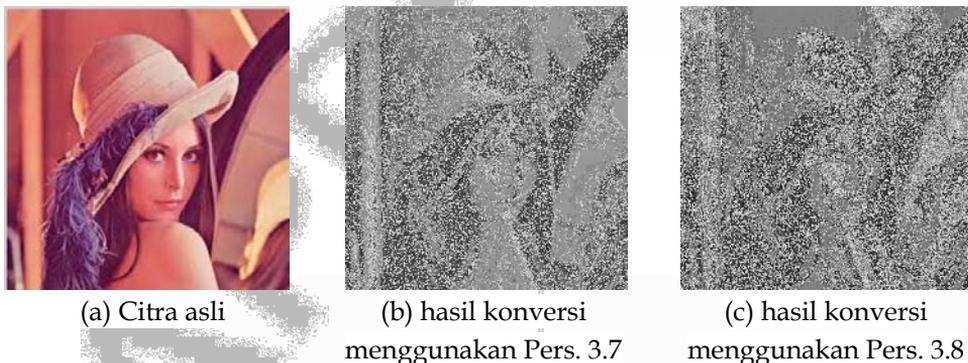
Pengubahan citra warna RGB menjadi citra aras keabuan secara sederhana adalah dengan cara menghitung nilai rata-rata dari warna RGB tersebut. Secara sederhana rumusan fungsinya didefinisikan sebagai berikut

$$G(i, j) = \frac{f_R(i, j) + f_G(i, j) + f_B(i, j)}{3} \quad (3.7)$$

Di mana f_R , f_G , dan f_B secara berturut-turut menyatakan nilai kemerahan, kehijauan dan kebiruan masing-masing piksel ke (i, j) . Karena secara substansial bahwa warna merah dan hijau lebih terang daripada warna biru maka jika menggunakan rerata yang seimbang maka citra tampak kebih gelap di daerah merah dan hijau dan terlalu terang di daerah biru. Sehingga untuk mendapatkan citra yang lebih baik dipergunakan bobot yang berbeda untuk masing-masing komponen warna dengan persamaan sebagai berikut

$$G(i, j) = \frac{0,299 * f_R(i, j) + 0,587 * f_G(i, j) + 0,114 * f_B(i, j)}{3} \quad (3.8)$$

Gambar 3.15 memperlihatkan perbandingan hasil konversi citra warna RGB ke aras keabuan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8. Terlihat bahwa hasil konversi menggunakan Persamaan 3.8 sedikit lebih terang dibanding hasil konversi menggunakan Persaman 3.7.



Gambar 3.15 Perbandingan Hasil Konversi

3.3 Pengolahan Histogram

Histogram citra adalah representasi grafik yang menyatakan distribusi nilai-nilai warna atau intensitas piksel-piksel di dalam citra. Frekuensi kemunculan nilai intensitas piksel pada suatu citra dapat diketahui melalui

histogram citra tersebut. Selain itu histogram juga dapat menunjukkan kecerahan dan kontras suatu citra. Puncak histogram menyatakan intensitas piksel yang paling sering muncul atau menonjol pada suatu citra.

Histogram berguna untuk mengamati penyebaran intensitas piksel suatu citra. Oleh karena itu, histogram dapat digunakan untuk pengambilan keputusan operasi pengolahan citra apa yang harus diberikan pada citra. Selain itu, histogram juga berguna untuk menentukan batas-batas objek sehingga dapat dipisahkan dari latar belakangnya.

Pada citra berwarna, histogram menyatakan distribusi nilai-nilai warna atau frekuensi kemunculan nilai intensitas piksel untuk masing-masing komponen-komponen RGB penyusunnya. Susunan posisi warna piksel di dalam citra, bukanlah informasi yang ada pada histogram. Sehingga histogram tidak dapat dipergunakan untuk memprediksi bentuk objek yang terkandung di dalam citra.

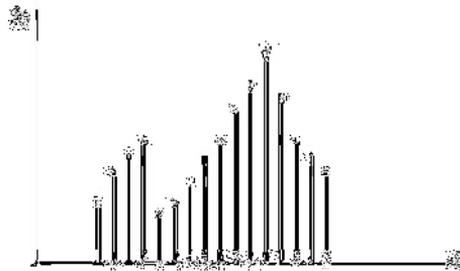
Bentuk histogram pada dua buah citra dimungkinkan sama untuk citra yang berbeda. Misalnya pada sebuah citra yang mengalami proses rotasi, dilasi, atau pencerminan. Pada kasus tersebut sebenarnya citra mengandung informasi yang sama hanya letaknya yang berbeda.

3.3.1 Pembentukan Histogram

Histogram merupakan grafik yang menyatakan frekuensi kemunculan piksel berintensitas tertentu. Sumbu horizontal suatu histogram mewakili intensitas piksel dan sumbu vertical mewakili frekuensi kemunculan intensitas piksel. Secara matematis, histogram citra dinyatakan dengan persamaan

$$h_i = \frac{n_i}{n}, i = 0, 1, \dots, L - 1 \quad (3.9)$$

Di mana h_i adalah frekuensi kemunculan piksel berintensitas ke i , n_i adalah banyaknya piksel berintensitas ke i pada citra, dan n adalah jumlah piksel keseluruhan citra sedangkan L adalah 2^k atau kedalaman bit piksel. Histogram dibentuk dengan menggambarkan besarnya h_i pada setiap i , diperlihatkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Histogram Suatu Citra

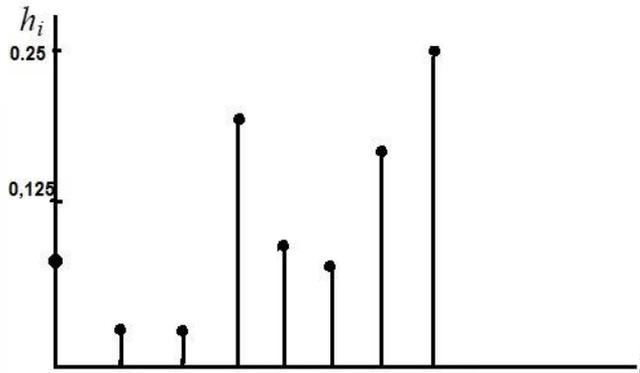
Contoh, matriks di bawah ini menyatakan citra digital yang berukuran 6x6 piksel dengan tingkat keabuan dari 0 sampai 7 (ada 8 buah tingkat keabuan):

0	0	4	5	7	7
0	3	3	6	6	7
2	3	3	5	5	7
6	6	7	7	7	6
1	6	6	7	3	3
4	4	4	7	3	3

Dibuat tabel untuk mencari nilai frekuensi tiap intensitasnya. Tabel 3.1 memperlihatkan perhitungan h_i untuk setiap intensitas. Gambar 3.17 memperlihatkan hasil penggambaran histogram dari kasus citra contoh.

Tabel 3.1 Perhitungan Histogram

i	n_i	$h_i = n_i/n$
0	3	0,083
1	1	0,028
2	1	0,028
3	8	0,222
4	4	0,111
5	3	0,083
6	7	0,194
7	9	0,25



Gambar 3.17 Histogram Hasil

3.3.2 Perubahan Histogram Citra

Tujuan pengubahan histogram citra adalah untuk memperoleh citra sesuai dengan yang diinginkan. Untuk itu maka penyebaran nilai-nilai intensitas pada citra harus diubah. Perubahan citra berdasarkan histogram ini terdapat dua metode yaitu perataan histogram dan spesifikasi histogram.

1. Perataan Histogram

Citra yang diperoleh dari hasil pendigitalan citra sering kali memiliki intensitas yang tidak seragam. Oleh karena itu, diperlukan suatu cara agar diperoleh suatu citra dengan histogram yang relatif seragam. Salah satu caranya adalah melakukan perataan histogram pada citra tersebut. Pada perataan histogram nilai-nilai intensitas piksel di dalam citra diubah sehingga nilai intensitasnya tersebar lebih seragam sehingga setiap tingkat intensitas memiliki jumlah piksel yang relatif sama.

Langkah-langkah perataan histogram yang pertama adalah menuliskan kembali rumus histogram citra dalam fungsi peluang

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{k} \quad (3.10)$$

Di mana $r_k = \frac{k}{L-1}$, $0 \leq k < L-1$, ini berarti tingkat keabuan citra dinormalkan terhadap $L-1$. Pada dasarnya perataan histogram ini

merupakan proses transformasi (T) tingkat keabuan suatu piksel (r) ke tingkat keabuan yang baru (s). Transformasi ini dapat dituliskan dalam persamaan

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) \tag{3.11}$$

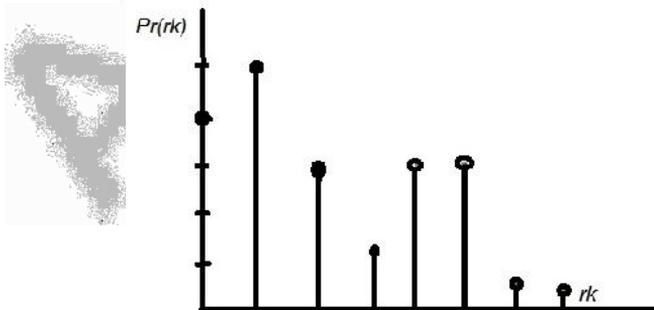
Dengan $0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, 2, 3, \dots, L - 1$

Contoh: Suatu citra berukuran 10×10 dengan tingkat keabuan (L) 8 diperlihatkan dalam Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Tingkat keabuan (L) 8 pada citra berukuran 10×10

k	r_k	n_k	$P_r(r_k)$	$s_k = P_r(r_j)$
0	$0/7=0$	20	0,2	0,2
1	$1/7=0,14$	25	0,25	0,45
2	$2/7=0,29$	15	0,15	0,6
3	$3/7=0,43$	5	0,05	0,65
4	$4/7=0,57$	15	0,15	0,8
5	$5/7= 0,71$	15	0,15	0,95
6	$6/7 = 0,86$	3	0,03	0,98
7	$7/7=1$	2	0,02	1

Histogram sebelum perataan diperlihatkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Histogram Sebelum Perataan

Nilai s_k dibulatkan ke nilai r terdekat.

$s_0 = 0,2$ lebih dekat ke nilai $1/7$ ($= 0,14$), maka $s_0 = 1/7$

$s_1 = 0,45$ lebih dekat ke nilai $3/7$ ($= 0,43$), maka $s_1 = 3/7$

$s_2 = 0,60$ lebih dekat ke nilai $4/7$ ($= 0,57$), maka $s_2 = 4/7$

$s_3 = 0,65$ lebih dekat ke nilai $5/7$ ($= 0,71$), maka $s_3 = 5/7$

$s_4 = 0,80$ lebih dekat ke nilai $6/7$ ($= 0,86$), maka $s_4 = 6/7$

$s_5 = 0,95$ lebih dekat ke nilai $7/7$ ($= 1,00$), maka $s_5 = 7/7$

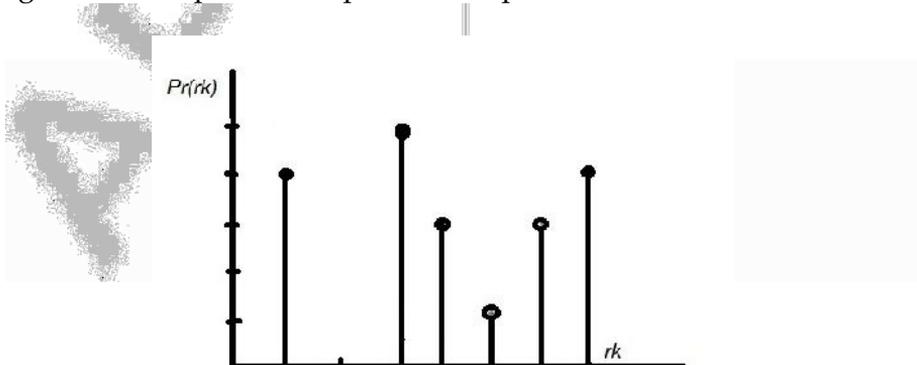
$s_6 = 0,98$ lebih dekat ke nilai $7/7$ ($= 1,00$), maka $s_6 = 7/7$

$s_7 = 1,00$ lebih dekat ke nilai $7/7$ ($= 1,00$), maka $s_7 = 7/7$

Tabel 3.3 Hasil Transformasi Mean:

k	r_k	$s_k = P_r(r_j)$
0	$0/7=0$	$1/7$
1	$1/7=0,14$	$3/7$
2	$2/7=0,29$	$4/7$
3	$3/7=0,43$	$5/7$
4	$4/7=0,57$	$6/7$
5	$5/7= 0,71$	$7/7$
6	$6/7 = 0,86$	$7/7$
7	$7/7=1$	$7/7$

Histogram setelah perataan diperlihatkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Histogram Setelah Melalui Proses Perataan

Perataan histogram seringkali menghasilkan perataan yang tidak benar-benar tersebar secara merata hal ini disebabkan karena tingkat keabuan dan jumlah piksel yang direratakan jumlahnya terbatas. Penyebaran yang tidak merata ini juga disebabkan karena nilai intensitas baru hasil perataan adalah pembulatan ke tingkat keabuan terdekat.

2. Spesifikasi Histogram

Berbeda dengan perataan histogram, metode spesifikasi histogram (*histogram specification*) menghasilkan histogram yang telah ditentukan oleh pengguna (*user*). Spesifikasi histogram dapat digunakan untuk mengubah histogram citra menjadi histogram lain yang tidak seragam. Karena histogram citra yang dihasilkan ditentukan oleh pengguna maka kualitas citra yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh pengalaman pengguna dalam menentukan target histogram citra.

Langkah pertama dalam melakukan spesifikasi adalah melakukan perataan histogram. Perataan ini dilakukan menggunakan persamaan 3.11. Setelah itu tentukan histogram yang diinginkan. Kemudian lakukan perataan histogram dengan fungsi transformasi menggunakan persamaan (3.12)

$$v_k = G(z_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k p_z(z_j) \tag{3.12}$$

Dari hasil transformasi langkah pertama lakukan invers pada hasil transformasi ini dengan menggunakan persamaan $z = G^{-1}(s)$ caranya dengan mencari nilai s yang menghasilkan nilai z terdekat.

Contoh: Suatu citra berukuran 10 x 10 dengan tingkat keabuan (L) 8 diperlihatkan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Histogram Suatu Citra Berukuran 10 x 10

k	r_k	n_k	$P_r(r_k)$	$P_z(r_j)$
0	0/7=0	20	0,2	0
1	1/7=0,14	25	0,25	0,10
2	2/7=0,29	15	0,15	0,20

Tabel 3.4 Spesifikasi Histogram Suatu Citra Berukuran 10 x 10 (Lanjutan)

k	r_k	n_k	$P_r(r_k)$	$P_z(r_j)$
3	$3/7=0,43$	5	0,05	0,30
4	$4/7=0,57$	15	0,15	0,25
5	$5/7= 0,71$	15	0,15	0,10
6	$6/7 = 0,86$	3	0,03	0,05
7	$7/7=1$	2	0,02	0

Lakukan perataan terhadap histogram yang diinginkan

$$\begin{aligned} v_0 = G(z_0) &= 0.00 & v_4 = G(z_4) &= 0.85 \\ v_1 = G(z_1) &= 0.10 & v_5 = G(z_5) &= 0.95 \\ v_2 = G(z_2) &= 0.30 & v_6 = G(z_6) &= 1.00 \\ v_3 = G(z_3) &= 0.60 & v_7 = G(z_7) &= 1.00 \end{aligned}$$

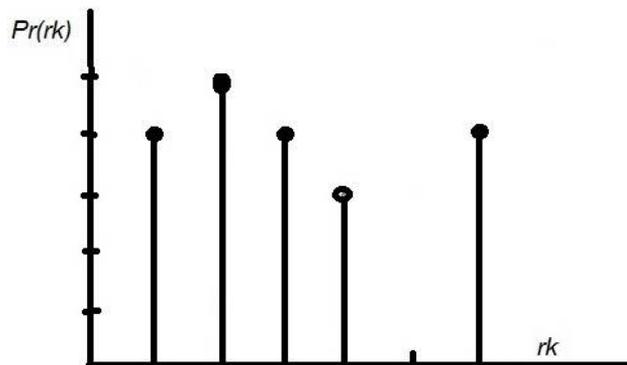
Dengan menggunakan transformasi invers ($z = G^{-1}(s)$) untuk memperoleh nilai z dari nilai s hasil perataan histogram.

$$\begin{aligned} s_0 = 1/7 &\rightarrow 0.14 \text{ paling dekat dengan } 0.1 = G(z_1), \text{ jadi } G^{-1}(0.14) = z_1 = 1/7 \\ s_1 = 3/7 &\rightarrow 0.43 \text{ paling dekat dengan } 0.3 = G(z_2), \text{ jadi } G^{-1}(0.43) = z_2 = 2/7 \\ s_2 = 4/7 &\rightarrow 0.57 \text{ paling dekat dengan } 0.6 = G(z_3), \text{ jadi } G^{-1}(0.57) = z_3 = 3/7 \\ s_3 = 5/7 &\rightarrow 0.71 \text{ paling dekat dengan } 0.6 = G(z_3), \text{ jadi } G^{-1}(0.71) = z_3 = 3/7 \\ s_4 = 6/7 &\rightarrow 0.86 \text{ paling dekat dengan } 0.85 = G(z_4), \text{ jadi } G^{-1}(0.86) = z_4 = 4/7 \\ s_5 = 1 &\rightarrow 1.00 \text{ paling dekat dengan } 1.00 = G(z_6), \text{ jadi } G^{-1}(1.00) = z_6 = 6/7 \end{aligned}$$

Diperoleh pemetaan langsung sebagai berikut:

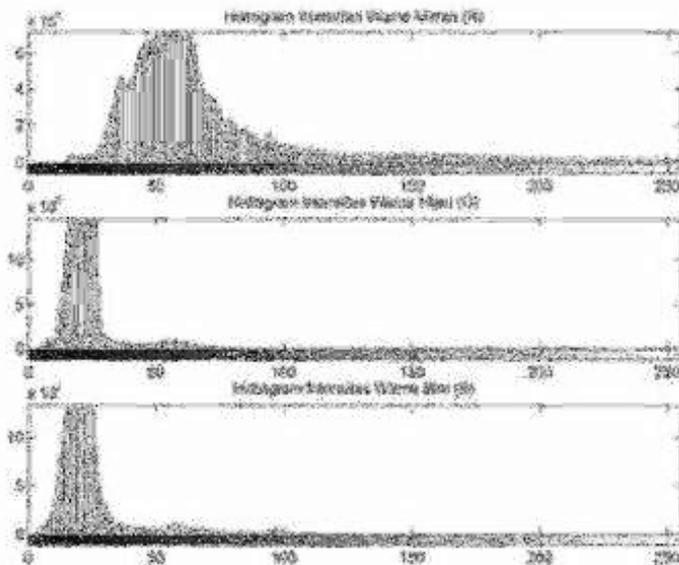
$$\begin{aligned} r_0 = 0 &\rightarrow z_1 = 1/7 & r_4 = 4/7 &\rightarrow z_4 = 4/7 \\ r_1 = 1/7 &\rightarrow z_2 = 2/7 & r_5 = 5/7 &\rightarrow z_6 = 6/7 \\ r_2 = 2/7 &\rightarrow z_3 = 3/7 & r_6 = 6/7 &\rightarrow z_6 = 6/7 \\ r_3 = 3/7 &\rightarrow z_3 = 3/7 & r_7 = 1 &\rightarrow z_6 = 6/7 \end{aligned}$$

Gambar 3.20 memperlihatkan histogram hasil spesifikasi dari citra 8 bit dengan ukuran 8.



Gambar 3.20 Histogram Hasil Spesifikasi

Citra RGB memiliki ukuran 24 bit, oleh karena itu pada penggambaran histogram tiga menjadi tiga komponen warna (*R*, *G*, dan *B*) yang masing-masing berukuran 8 bit. Contoh histogram citra RGB dapat dilihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Histogram citra RGB (Sulistiyanti, 2010)

3.4 Penapisan Ruang

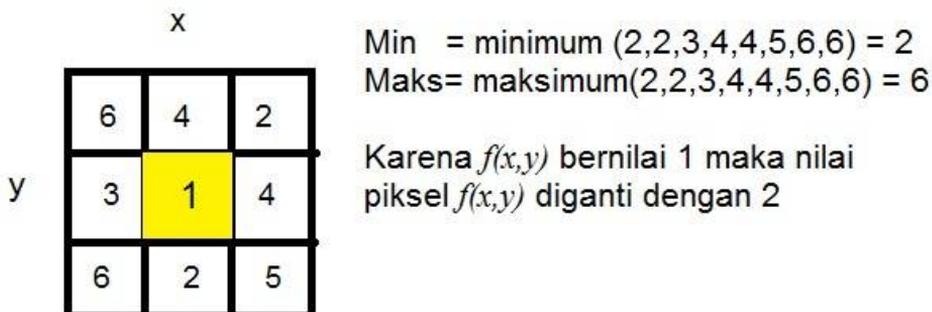
Derau yang terdapat pada citra biasanya memiliki spectrum frekuensi yang lebih tinggi daripada komponen citra, oleh karena itu derau dapat dihilangkan menggunakan tapis lolos rendah (*Low Pass Filter/LPH*). Derau dapat dihilangkan dengan melakukan pendekatan secara linear ataupun nonlinear. Penghilangan derau secara linear dapat dilakukan pada kawasan spasial maupun kawasan frekuensi. Penghilangan derau pada kawasan ruang dapat menggunakan tapis LPF, tapis rerata, tapis rerata harmonic, dan tapis kontraharmonik.

3.4.1 Tapis Batas

Tapis ini digunakan untuk membatasi intensitas diluar nilai intensitas piksel-piksel tetangga. Secara matematis tapis ini dapat dinyatakan dalam persamaan

$$f(x, y) = \begin{cases} Maks & f(x, y) > Maks \\ f(x, y) & Min < f(x, y) < Maks \\ Min & f(x, y) < Min \end{cases} \quad (3.13)$$

Tapis ini hanya memproses selain baris pertama dan terakhir serta kolom pertama dan kolom terakhir dari citra. Ilustrasi penapisan batas diperlihatkan pada Gambar 3.22. Efek penggunaan tapis ini membuat citra tampak lebih kabur.



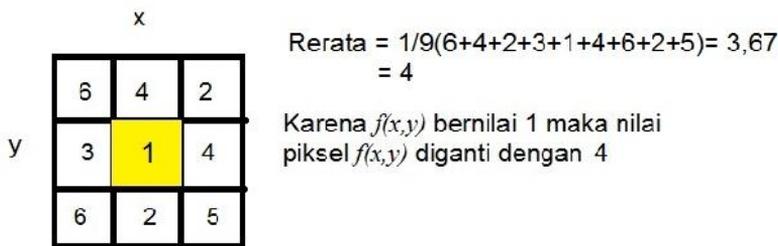
Gambar 3.22 Tapis Batas

3.4.2 Tapis Rerata (Mean)

Tapis ini digunakan untuk membatasi nilai piksel menjadi bernilai rata-rata dari tetangga piksel. Sama seperti pada tapis batas, tapis ini hanya memproses selain baris pertama dan terakhir serta kolom pertama dan kolom terakhir dari citra. Secara matematis tapis ini diungkapkan dalam persamaan

$$f(x, y)' = \frac{1}{9} \sum_{p=-1}^1 \sum_{q=-1}^1 f(x+p, y+q) \tag{3.14}$$

Ilustrasi penapisan rerata diperlihatkan pada Gambar 3.23. Efek penggunaan tapis ini sama dengan pada tapis batas yaitu membuat citra tampak lebih kabur dan hanya menekan derau tidak menghilangkannya.



Gambar 3.23 Tapis Rerata

3.4.3 Tapis Median

Filter ini cocok digunakan untuk menghilangkan derau garam dan merica (*salt and pepper*). Derau garam dan merica berupa derau bintik-bintik hiyam dan putih yang menyebar pada citra. Piksel citra ditentukan oleh nilai median (nilai tengah) tetangga piksel tersebut. Secara matematis, tapis dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.15):

$$f(x, y)' = \text{median}(f(x-1, y-1), f(x-1, y), f(x-1, y+1), f(x, y-1), f(x, y), f(x, y+1), f(x+1, y-1), f(x+1, y), f(x+1, y+1)) \tag{3.15}$$

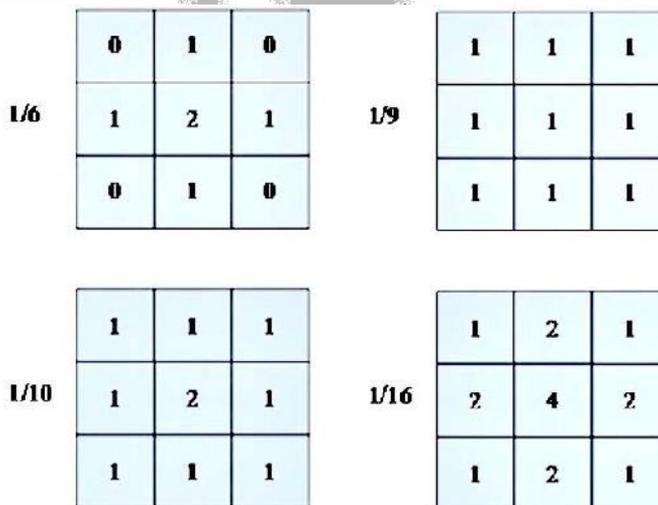
Ilustrasi penapisan median diperlihatkan pada Gambar 3.24. Tapis ini mampu menghilangkan derau garam dan merica tanpa mengurangi kualitas citra yang ditapis.



Gambar 3.24 Tapis Median

3.4.5 Tapis Lolos Rendah (Low Pass Filter/LPF)

Tapis ini mempunyai sifat dapat meloloskan yang frekuensi rendah dan menghilangkan yang frekuensi tinggi. Efek yang diberikan pada citra adalah citra tampak lebih lembut (*smoothing*). Tapis ini digunakan untuk menghaluskan derau atau untuk interpolasi tepi objek dalam citra.



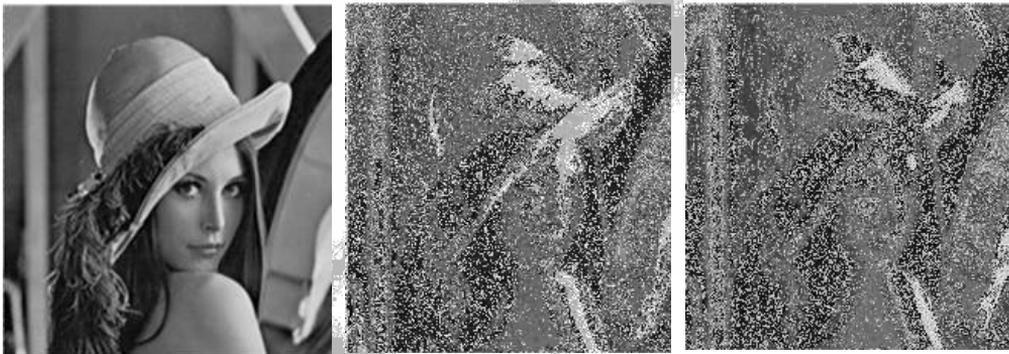
Gambar 3.25 Kernel Tapis Lolos Rendah

Tapis ini dalam penggunaannya dapat menggunakan kernel atau tanpa kernel. Tapis lolos rendah yang tidak menggunakan kernel adalah tapis median sedangkan yang menggunakan kernel salah satu contohnya

adalah tapis merata. Kernel (*mask*) adalah matrik berukuran kecil yang digunakan dengan cara konvolusi pada citra yang ditapis. Contoh kernel dalam tapis lolos rendah diperlihatkan pada Gambar 3.25. Kernel tapis lolos rendah memiliki cirri-ciri, yaitu:

1. Jumlah semua elemen kernel bernilai satu.
2. Elemen kernel tidak ada yang bernilai negatif.
3. Tinggi dan lebar kernel ganjil.
4. Bobot dalam kernel bersifat simetris terhadap piksel pusat.

Semakin besar ukuran kernel yang digunakan maka citra yang dihasilkan semakin lembut. Gambar 3.26 memperlihatkan perbandingan hasil penapisan untuk ukuran kernel 3×3 dengan 5×5 .



(a) Citra Lena 256

(b) Hasil dengan
Kernel 3×3

(c) Hasil dengan
Kernel 5×5

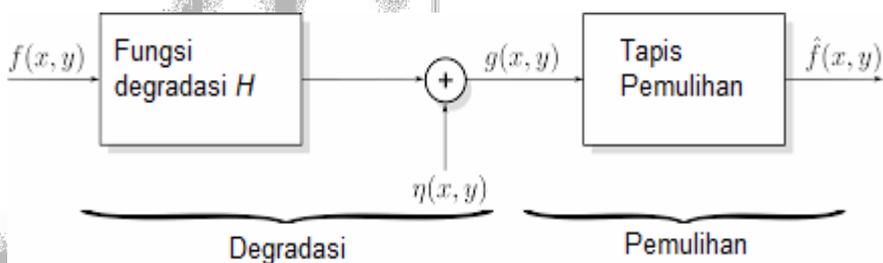
Gambar 3.26 Hasil penapisan menggunakan tapis lolos rendah

APPROVAL

BAB 4

4 PEMULIHAN CITRA

Citra umumnya mengalami degradasi atau penurunan kualitas saat diperoleh melalui proses pengambilan atau pendigitalan citra. Degradasi terjadi karena banyak sebab, misalnya karena ketidaklinearan perangkat optik yang digunakan dalam proses digitalisasi, perubahan kondisi intensitas cahaya yang tidak menentu pada saat pengambilan citra, kurang fokus alat optik pengambil citra atau dapat pula karena ketidakstabilan perangkat pendigitalan citra misalnya karena gerakan. Proses restorasi citra diperlihatkan pada Gambar 4.1 dimana citra keluaran hasil digitalisasi mengalami degradasi kualitas akibat munculnya derau.



Gambar 4.1 Model Degradasi Citra

Pemulihan merupakan salah satu tujuan pengolahan citra yang diperlukan karena citra yang ada/didapat berkondisi tidak sempurna.

Contoh: Citra yang kurang jelas, tidak bersih, atau sebagai hasil "half-toning". Proses half-toning dengan menerapkan citra pengubah yang bervariasi intensitas berbentuk piramida. Semakin tinggi intensitas half-toning maka modulasi semakin lebar.

Istilah pemulihan dalam pengolahan citra memiliki perbedaan makna dengan peningkatan citra. Istilah peningkatan citra (*image enhancement*) memiliki makna usaha untuk membuat citra agar menjadi lebih baik menurut sudut pandang pengolahnya. Pada peningkatan citra dimungkinkan untuk memanipulasi piksel hingga terjadi perubahan drastis diluar nilai intensitas piksel aslinya. Ukuran citra menjadi lebih baik juga bersifat relatif karena antara pengolah satu dengan yang lain memiliki ukuran yang berbeda.

Pemulihan citra merupakan proses untuk mengembalikan kualitas citra yang turun akibat adanya tambahan derau saat pendigitalan atau pengiriman agar menjadi mirip dengan keadaan aslinya. Untuk mendapat hasil pemulihan yang memuaskan maka harus diketahui sifat-sifat dari derau sehingga dapat ditentukan tapis apa yang tepat yang harus digunakan dalam mengurangi derau tersebut.

4.1 Derau Pada Citra Digital

Derau adalah sinyal yang tidak diinginkan yang masuk ke dalam sinyal asli sehingga membuat sinyal keluaran menjadi tidak tepat, seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.1. Hal ini akan menghasilkan ketidaktepatan piksel dalam merepresentasikan intensitas yang sebenarnya. Derau dapat pula terjadi karena ketidaktepatan penyimpanan berkas, hal ini mungkin terjadi karena berkas citra disimpan dalam bentuk digital antara digit 0 dan 1.

Dalam pengolahan citra digital terdapat beberapa jenis derau yang dapat terjadi. Besarnya derau citra dapat berkisar dari bintik kecil yang nyaris tidak terlihat pada citra hingga hampir semua piksel pada citra adalah derau. Sumber noise pada citra digital muncul selama proses akuisisi atau pengiriman. Derau yang muncul saat akuisisi dikarenakan

oleh kondisi lingkungan selama proses akuisisi dan juga oleh kualitas elemen pengindra. Sedangkan derau yang muncul selama proses transmisi disebabkan karena gangguan di saluran transmisi, misalnya karena petir atau gangguan cuaca.

Keberhasilan proses pemulihan dipengaruhi oleh pengetahuan mengenai karakteristik dari jenis-jenis derau yang ada. Setelah karakteristik dari derau diketahui maka dapat dipilih tapis yang tepat agar dapat menghilangkan atau mengurangi derau sehingga menghasilkan citra yang nyaris seperti semula. Ukuran keberhasilan pemulihan citra diukur menggunakan nilai *MSE* (*Mean Square Error*) dan *PSNR* (*Peak Signal to Noise Ratio*). *MSE* menyatakan nilai galat kuadrat rata-rata antara citra asli dengan citra hasil pemulihan. Sedangkan *PSNR* menyatakan perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang mempengaruhi sinyal tersebut. *MSE* dan *PSNR* dinyatakan secara matematis menggunakan persamaan berikut:

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n [f'(i, j) - f(i, j)]^2 \quad (4.1)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{Max}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (4.2)$$

Di mana m dan n adalah ukuran kolom dan baris dari citra, $f(i, j)$ adalah citra asli dan $f'(i, j)$ adalah citra hasil pemulihan. Max adalah nilai piksel maksimum yang mungkin, jika 8 bit berarti $2^8 - 1 = 255$. Semakin kecil nilai *MSE* maka semakin bagus hasil pemulihan, artinya kualitas citra hasil pemulihan mendekati sama dengan citra aslinya. Pada *PSNR*, semakin tinggi nilainya maka semakin bagus karena dianggap citra hasil pemulihan mendekati citra aslinya.

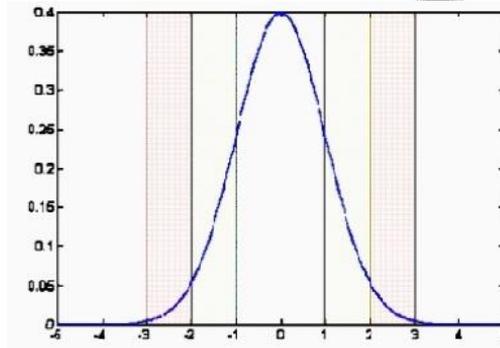
4.1.1 Derau Gaussian

Derau Gaussian adalah derau statistik yang memiliki fungsi kepadatan probabilitas (*Probability Density Function*/PDF) sama dengan distribusi normal, yang juga dikenal dengan distribusi Gaussian. dengan kata lain, nilai-nilai derau ini dapat mengambil pada distribusi Gaussian. Gambar 4.2

memperlihatkan grafik PDF dengan $\sigma = 1$. PDF dari variabel acak Gaussian, z , dinyatakan dengan persamaan

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.3)$$

Di mana z adalah intensitas, μ adalah rerata intensitas, dan σ adalah standar deviasi. Derau Gaussian disebut juga *Gaussian White Noise* karena akan terlihat seperti citra putih pada saat nilai rata-rata dan standar deviasinya besar. Sedangkan Gambar 4.3 memperlihatkan citra Lena yang terkena derau Gaussian.



Gambar 4.2 Contoh Gaussian dengan $\sigma=1$



(a) Citra Lena asli



(b) Citra Lenna berderau Gaussian dengan $\sigma = 20$

Gambar 4.3 Citra asli dan berderau

4.1.2 Derau Rayleigh

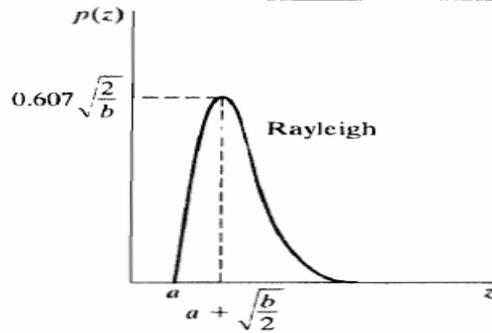
PDF dari derau Rayleigh diberikan dengan persamaan:

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b} & \text{for } z \geq a \\ 0 & \text{for } z < a \end{cases} \quad (4.4)$$

Nilai rerata dan varians dari kerapatan diberikan dengan persamaan:

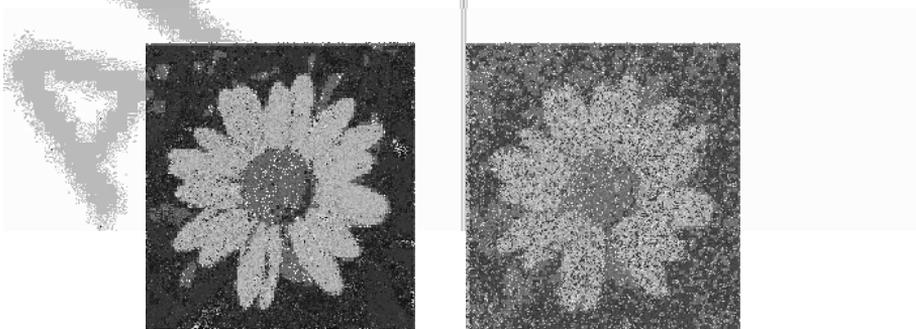
$$\mu = a + \sqrt{\pi b / 4} \quad (4.5)$$

$$\sigma^2 = \frac{b(4 - \pi)}{4} \quad (4.6)$$



Gambar 4.4 Grafik Kerapatan Derau Rayleigh

Grafik fungsi kerapatan derau Rayleigh diperlihatkan pada Gambar 4.4. Dan Gambar 4.5 memperlihatkan contoh citra berderau Rayleigh.



Gambar 4.5 Citra Asli dan Citra Berderau Rayleigh

4.1.3 Derau Erlang (Gamma)

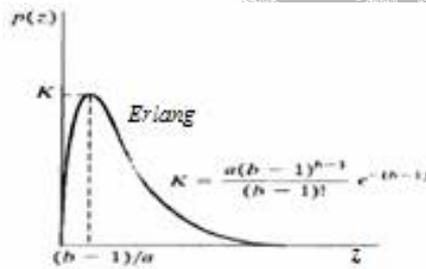
PDF dari derau Rayleigh diberikan dengan Persamaan (4.7):

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-az} & \text{for } z \geq 0 \\ 0 & \text{for } z < 0 \end{cases} \quad (4.7)$$

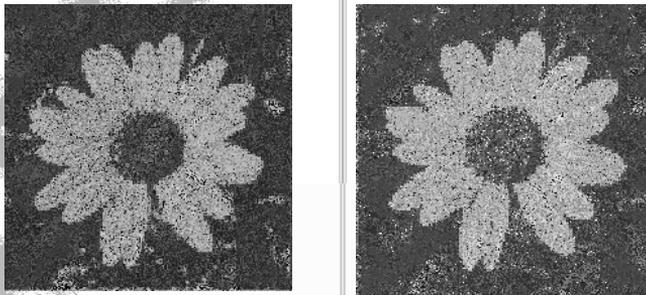
Nilai rerata dan varians dari kerapatan diberikan dengan Persamaan (4.8) dan (4.9):

$$\mu = \frac{b}{a} \quad (4.8)$$

$$\sigma^2 = \frac{b}{a^2} \quad (4.9)$$



Gambar 4.6 Grafik Kerapatan Derau Erlang



Gambar 4.7 Citra asli dan Citra Berderau Erlang

Grafik fungsi kerapatan derau Erlang diperlihatkan pada Gambar 4.6. Dan Gambar 4.7 memperlihatkan contoh citra berderau Erlang.

4.1.4 Derau Ekspensial

PDF dari derau Ekspensial diberikan dengan persamaan:

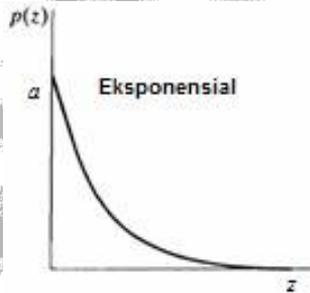
$$p(z) = \begin{cases} a^z & \text{for } z \geq 0 \\ 0 & \text{for } z < 0 \end{cases} \quad (4.10)$$

Nilai rerata dan varians dari kerapatan diberikan dengan persamaan:

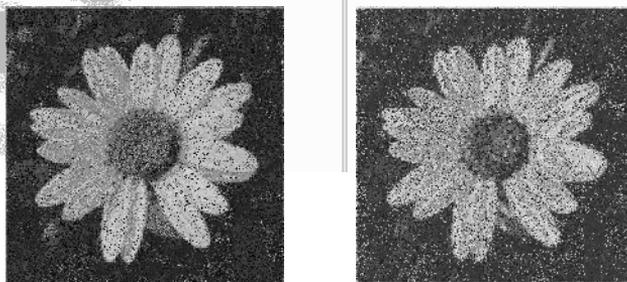
$$\mu = \frac{1}{a} \quad (4.11)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{a^2} \quad (4.12)$$

Grafik fungsi kerapatan derau Ekspensial diperlihatkan pada Gambar 4.8. Dan Gambar 4.9 memperlihatkan contoh citra berderau Ekspensial.



Gambar 4.8 Grafik Kerapatan Derau Ekspensial



Gambar 4.9 Citra Asli dan Citra Berderau Ekspensial

4.1.5 Derau Seragam (*Uniform*)

PDF dari derau Seragam diberikan dengan persamaan:

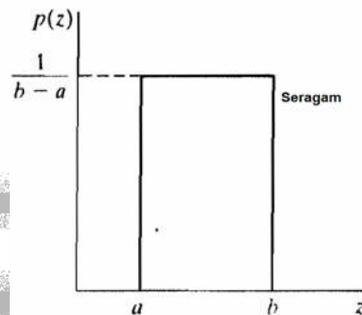
$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{jika } a \leq z \leq b \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (4.13)$$

Nilai rerata dan varians dari kerapatan diberikan dengan persamaan:

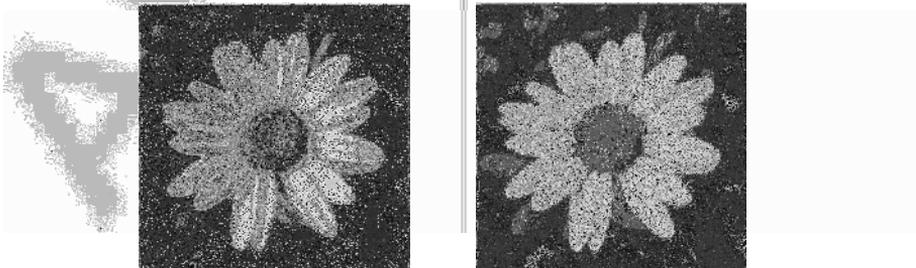
$$\mu = \frac{a+b}{2} \quad (4.11)$$

$$\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (4.12)$$

Grafik fungsi kerapatan derau Seragam diperlihatkan pada Gambar 4.10. Dan Gambar 4.11 memperlihatkan contoh citra berderau Ekspensial Seragam.



Gambar 4.10 Grafik Kerapatan Derau Seragam



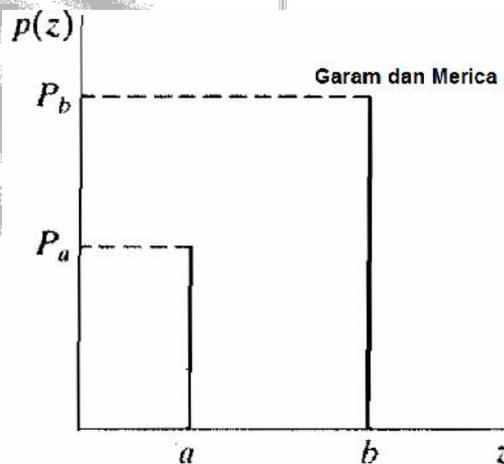
Gambar 4.11 Citra Asli dan Citra Berderau Seragam

4.1.6 Derau garam dan merica (*salt and pepper* atau *impulse*)

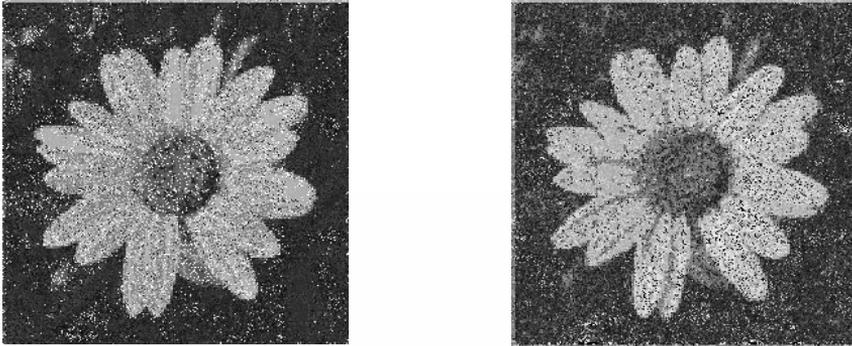
Derau garam dan merica disebabkan karena kesalahan pengubahan analog ke digital, kesalahan dalam transmisi, dll. Citra yang mengandung derau ini memiliki piksel gelap di daerah terang dan piksel terang di daerah gelap seperti taburan garam dan merica. Secara matematis derau ini dinyatakan dengan persamaan:

$$p(z) = \begin{cases} p_a & \text{jika } z = a \\ p_b & \text{jika } z = b \\ 0 & 0 \end{cases} \quad (4.13)$$

Jika nilai $b > a$, maka tingkat keabuan b akan tampak seperti sebuah titik yang terang dalam citra dan sebaliknya, level a akan tampak seperti titik yang gelap. Efeknya akan menghasilkan derau yang sangat kontras pada citra. Derau garam dan merica dapat negatif atau positif. Pada citra 8 bit, jika a bernilai 0 (hitam), maka b bernilai 255 (Putih). Jika salah satu nilai dari P_a atau $P_b = 0$, impuls derau disebut unipolar. Jika nilai P_a dan $P_b \neq 0$ dan terutama jika $P_a = P_b$, maka nilai impuls derau akan menyerupai butiran garam dan merica yang tersebar acak diatas citra. Gambar 4.12 memperlihatkan PDF dari derau garam dan merica. Gambar 4.13 memperlihatkan contoh citra berderau garam dan merica.



Gambar 4.12 Grafik Kerapatan Derau Garam dan Merica



Gambar 4.13 Contoh Citra Berderau Garam dan Merica

4.1.7 Derau Speckle

Derau *Speckle* merupakan derau multiplikatif (*multiplicative noise*). Derau speckle sering dijumpai pada aplikasi radar, hasil citra ultra sonografi, Tomografi, dan lain-lain. Derau ini bersifat acak dan deterministic pada citra. Model umum dari derau speckle dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$g(i, j) = f(i, j) * u(i, j) + \xi(i, j) \quad (4.14)$$

Di mana $g(i, j)$ adalah citra yang diamati, $f(i, j)$ citra asli, $u(i, j)$ adalah komponen pengali dan $\xi(i, j)$ adalah komponen penambah pada derau speckle.

4.1.8 Derau Periodik

Derau periodik pada citra timbul secara khusus akibat interferensi elektrik atau elektromekanik selama proses akuisisi citra. Secara visual, Citra yang mendapat tambahan derau ini akan tampak terdapat garis-garis pada citra. Berbeda dengan derau sebelumnya yang penghilangan deraunya menggunakan penapisan ranah spasial maka derau ini dapat dihilangkan secara signifikan menggunakan penapisan ranah frekuensi. Derau periodik merupakan derau yang dimodelkan sebagai degradasi bersifat global sedangkan derau-derau sebelumnya bersifat lokal.

4.2 Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Spasial

Tapis yang dapat digunakan digunakan untuk pemulihan citra yang mengalami degradasi akibat derau adalah tapis pelewat rendah. Hal ini disebabkan karena derau yang terjadi akibat proses akuisisi dan transmisi citra umumnya memiliki spektrum frekuensi yang lebih tinggi daripada komponen citra aslinya. Sehingga menggunakan tapis pelewat rendah akan melewatkan komponen frekuensi rendah (komponen citra asli) dan membuang komponen berfrekuensi tinggi (derau).

Penapisan derau dapat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu secara linear atau secara non linear. Melalui pendekatan linear, penapisan atau penghilangan derau dapat dilakukan pada kawasan spasial atau pada kawasan frekuensi. Tapis-tapis yang termasuk ke dalam kawasan spasial adalah tapis lolos rendah, tapis rerata aritmetik, tapis rerata harmonik dan tapis rerata kontraharmonik. Sedangkan tapis homomorfik dapat digunakan pada kawasan frekuensi.

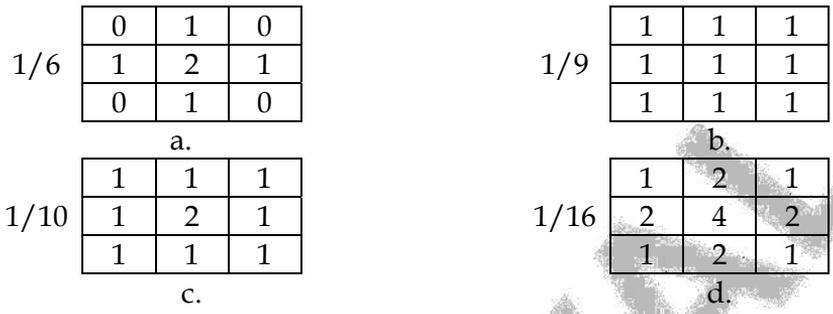
4.2.1 Tapis Lolos Rendah

Pada kawasan spasial, operasi penapisan dilakukan dengan melakukan operasi tingkat lokal untuk mengganti intensitas suatu piksel yang mengalami degradasi. Nilai-nilai piksel tetangga sangat berpengaruh terhadap nilai baru piksel yang akan digantikan. Penapisan derau menggunakan tapis lolos rendah menggunakan *mask/kernel* yang dapat berukuran 3×3 atau lebih. Ciri-ciri tapis lolos rendah adalah:

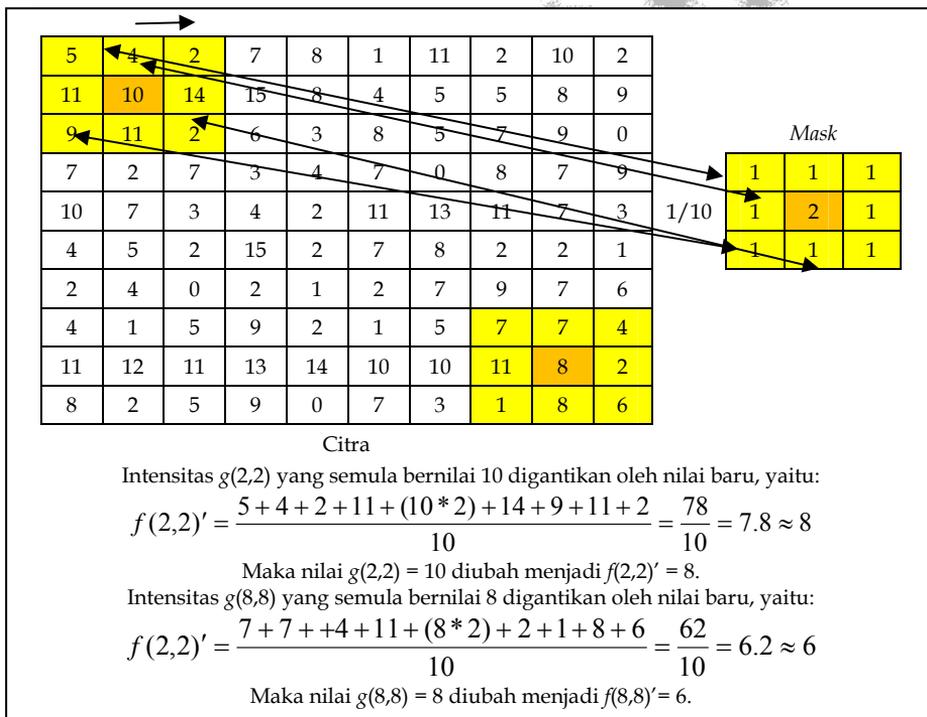
1. Jumlah semua elemen *mask* bernilai satu.
2. Elemen *mask* tidak ada yang bernilai negatif.
3. Tinggi dan lebar *mask* ganjil.
4. Bobot dalam *mask* bersifat simetris terhadap piksel pusat.

Operasi penapisan lolos rendah dapat dilaksanakan melalui konvolusi atau tanpa konvolusi. Contoh yang tidak memakai konvolusi dapat dilihat pada tapis median (tapis median termasuk dalam tapis lolos rendah) yang melibatkan konvolusi menggunakan *mask* tertentu.

Penapisan dilakukan dengan melakukan konvolusi antara citra dan *mask*. Contoh *mask* tapis lolos rendah diperlihatkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Contoh Mask Tapis Lolos Rendah



Gambar 4.15 Proses Penapisan Menggunakan Mask

Filter ini berguna untuk menghaluskan derau atau untuk kepentingan interpolasi tepi objek dalam citra. Contoh operasi penghilangan derau pada citra 4 bit ukuran 10x10 dengan menggunakan

mask tapis lolos rendah ditunjukkan pada Gambar 4.15. Penghilangan derau dimulai dari piksel $g(2,2)$ setelah selesai bergerak ke kanan hingga $g(8,2)$ kemudian beralih ke baris berikutnya hingga baris ke 8.

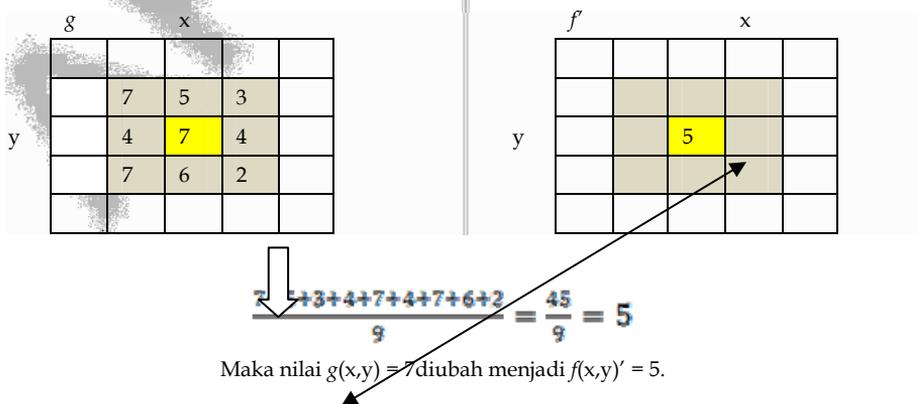
Pemrosesan hanya dilakukan selain baris pertama, baris terakhir, kolom pertama, dan kolom terakhir. Hal ini disebabkan pada baris dan kolom tersebut elemen citranya tidak lengkap sehingga harus dilakukan modifikasi terlebih dahulu agar semua piksel dapat diproses. Modifikasi yang dapat dilakukan adalah:

1. Elemen yang tidak ada dianggap bernilai nol, atau seperti memberi bingkai hitam terhadap citra.
2. Elemen baris yang tidak ada diberi nilai yang sama dengan nilai piksel di baris berikutnya atau sebelumnya dan elemen kolom yang tidak ada diberi nilai piksel di kolom bawahnya atau atasnya.

4.2.2 Tapis Rerata Aritmetik

Tapis rerata aritmetik (*arithmetic mean filter*) merupakan salah satu tapis lolos rendah. Tapis ini mengganti nilai intensitas piksel dengan cara melakukan perhitungan rerata nilai pada suatu jendela berukuran $m \times n$. Jika g menyatakan citra berderau dan f adalah citra hasil pemulihan, maka secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$f(x, y)' = \frac{1}{m \times n} \sum_{(p,q) \in S_{xy}} g(p, q) \tag{4.15}$$



Gambar 4.16 Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Rerata Aritmatika

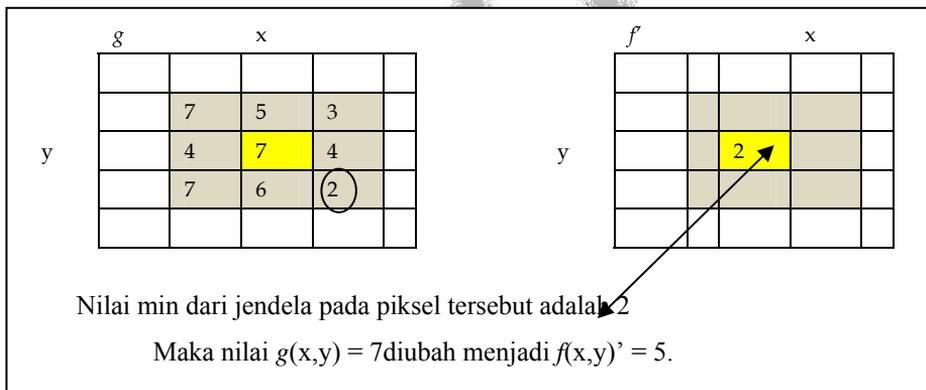
Tapis ini cocok untuk derau Gaussian dan seragam tetapi citra hasil keluarannya tampak kabur. Gambar 4.16 menunjukkan proses tapis merata aritmetik dalam menghilangkan derau. Proses ini diulang hingga piksel terakhir yang mungkin.

4.2.3 Tapis Min atau Minimum

Tapis Min adalah tapis yang mengganti intensitas piksel pada citra berderau dengan nilai terendah dari intensitas piksel tetangganya (dalam jendela) sebagai citra keluarannya. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(x, y) = \min_{(p,q) \in s_{yx}} (g(p, q)) \quad (4.16)$$

Gambar 4.17 memperlihatkan proses penghilangan derau menggunakan tapis min. Proses diulang hingga semua piksel terpulihkan.



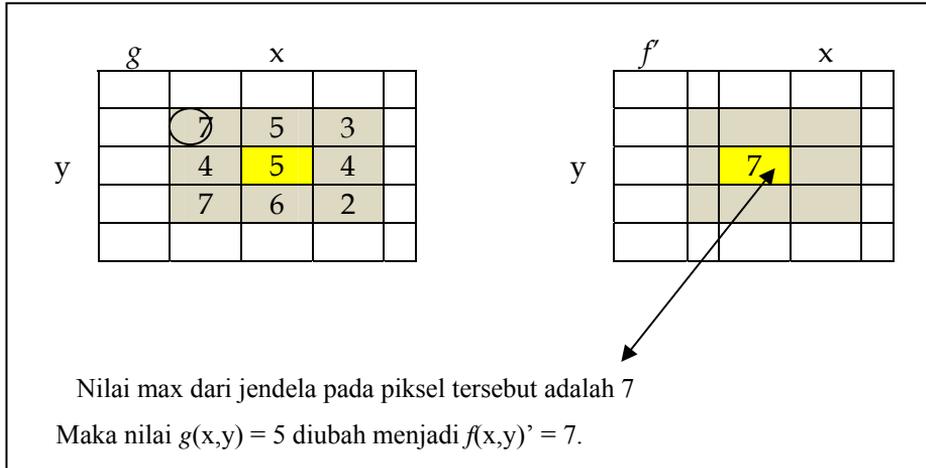
Gambar 4.17 Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Min

4.2.4 Tapis Max atau Maksimum

Tapis Max berlawanan dengan tapis Min, dimana tapis Max akan mengganti intensitas piksel pada citra berderau dengan nilai tertinggi dari intensitas piksel tetangganya (dalam jendela) sebagai citra keluarannya. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(x, y)' = \max_{(p,q) \in s_{yx}} (g(p, q)) \quad (4.16)$$

Gambar 4.18 memperlihatkan proses penghilangan derau menggunakan tapis max. Proses diulang hingga semua piksel terpulihkan.



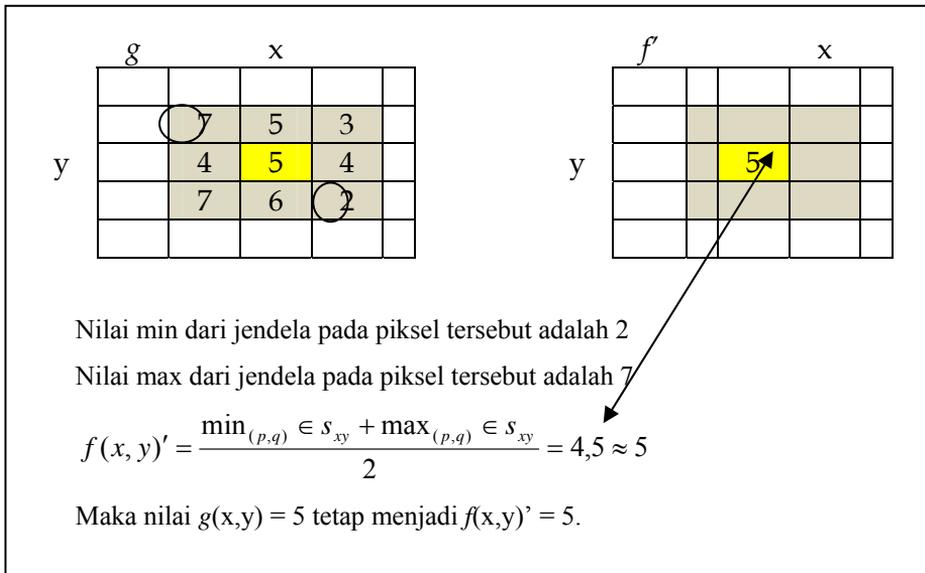
Gambar 4.18 Proses penghilangan derau menggunakan tapis Min

4.2.5 Tapis Titik Tengah

Tapis titik-tengah atau *midpoint filter* adalah tapis yang mencari nilai rerata antara nilai maksimum dan minimum pada jendela dan menggunakannya sebagai nilai keluaran. Derau Gaussian maupun derau seragam dapat berkurang secara signifikan jika menggunakan tapis ini. Karena harus mencari nilai maksimum dan minimum maka beban komputasi tapis ini lebih berat disbanding tapis Min atau Max. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(x, y)' = \frac{\max_{(p,q) \in s_{yx}} (g(p, q)) + \min_{(p,q) \in s_{yx}} (g(p, q))}{2} \quad (4.17)$$

Gambar 4.19 memperlihatkan proses penghilangan derau menggunakan tapis titik tengah. Proses diulang hingga semua piksel terpulihkan.



Gambar 4.19 Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Titik Tengah

4.2.6 Tapis Median

Tapis median menggunakan nilai tengah dari intensitas piksel-piksel di dalam jendela sebagai intensitas piksel citra keluaran. Tapis ini sangat cocok untuk menghilangkan derau garam dan merica. Secara matematis tapis median dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(x, y)'' = \text{median}_{(p,q) \in s_{yx}} (g(p, q)) \quad (4.18)$$

Gambar 4.20 memperlihatkan proses penghilangan derau menggunakan tapis median. Proses diulang hingga semua piksel terpulihkan.

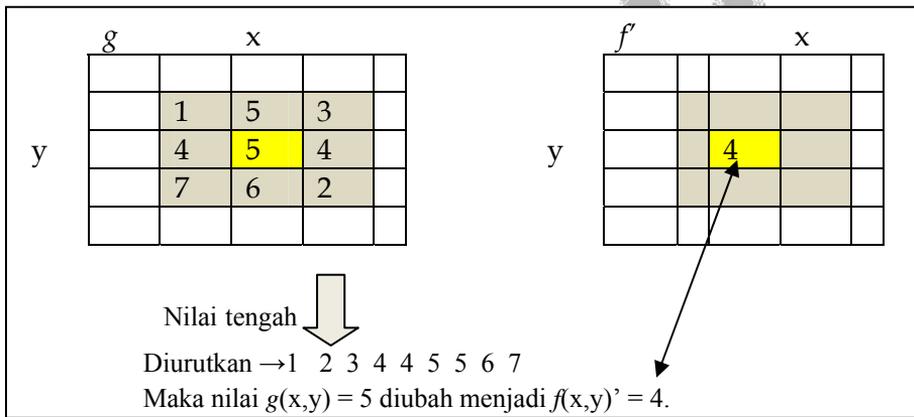
4.2.7 Tapis Rerata Harmonik (*Harmonic Mean Filter*),

Tapis ini dapat diterapkan untuk memulihkan citra berderau Gaussian. Jika diterapkan pada citra berderau garam dan merica maka tapis ini hanya dapat mereduksi derau garam tidak berhasil untuk derau merica. Tapis

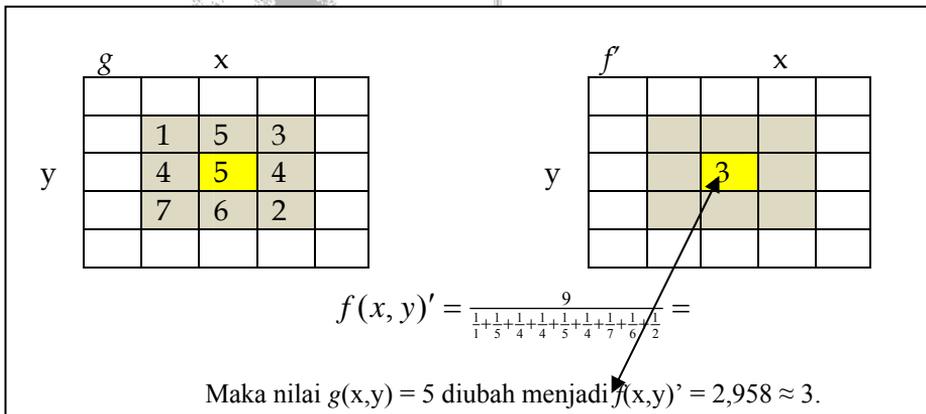
rerata harmonic ini termasuk tapis non linear. Secara matematis tapis rerata harmonic dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(y, x)' = \frac{mn}{\sum_{(p,q) \in S_{yx}} \frac{1}{g(p,q)}} \tag{4.19}$$

Gambar 4.21 memperlihatkan proses penghilangan derau menggunakan tapis rerata harmonic. Proses diulang hingga semua piksel terpulihkan.



Gambar 4.20 Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Median



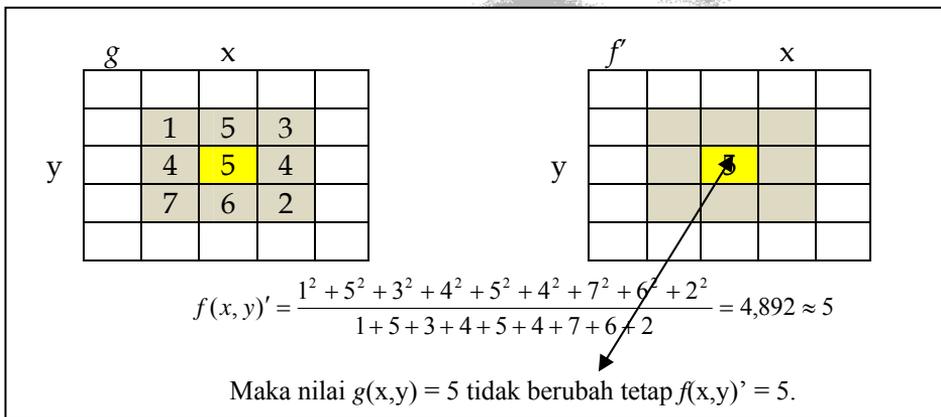
Gambar 4.21 Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Rerata Harmonic

4.2.8 Tapis Rerata Kontraharmonik (Contraharmonic Mean Filter)

Tapis ini seperti tapis rerata harmonic yaitu cocok untuk menghilangkan derau garam dan merica. Tapis ini memiliki orde tapis Q jika bernilai positif maka dapat digunakan untuk memulihkan citra dari derau merica, sebaliknya jika bernilai negative maka dapat digunakan untuk mereduksi derau garam.

$$\hat{f}(y, x) = \frac{\sum_{(p,q) \in s_{yx}} g(p, q)^{Q+1}}{\sum_{(p,q) \in s_{yx}} g(p, q)^Q} \tag{4.20}$$

Gambar 4.22 memperlihatkan proses penghilangan derau menggunakan tapis rerata kontraharmonik dengan orde tapis sama dengan 1. Proses pemulihan diulang hingga semua piksel terpulihkan.

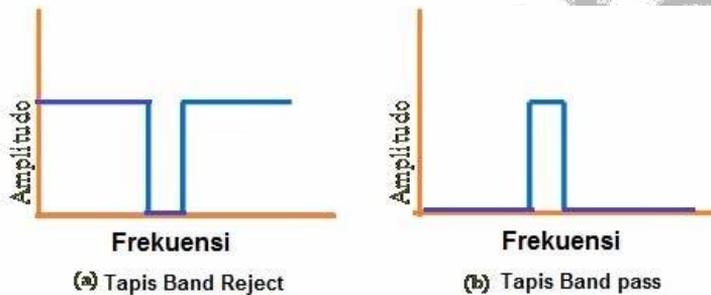


Gambar 4.21 Proses Penghilangan Derau Menggunakan Tapis Rerata Kontraharmonic

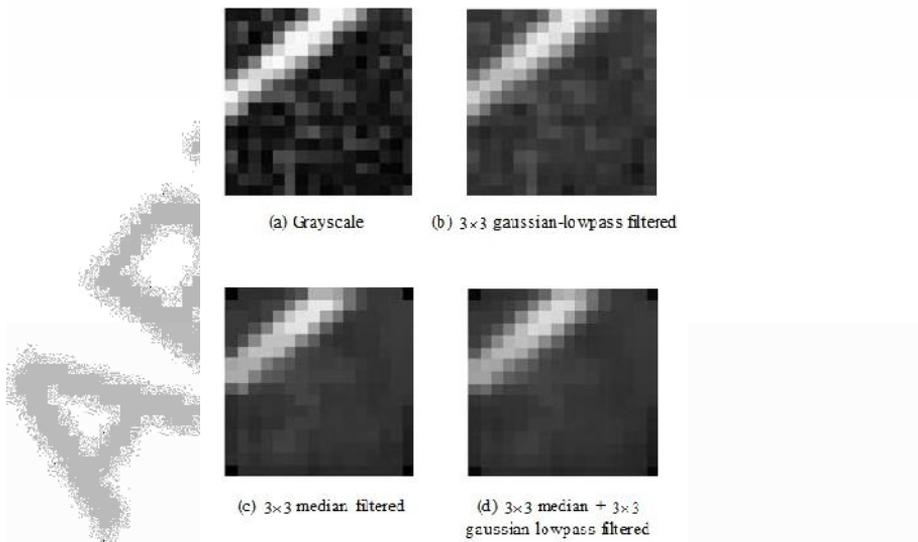
4.3 Pemulihan Menggunakan Penapisan kawasan Frekuensi

Diketahui bahwa derau periodik lebih tepat ditapis menggunakan tapis yang bekerja pada kawasan frekuensi. Terdapat tiga tapis yang dapat digunakan penapisan pada kawasan frekuensi, yaitu *band-reject*, *band-pass*, dan *notch*. Tapis *notch* mempunyai karakteristik yang dapat digunakan

untuk menghapus atau mengurangi derau periodis yang timbul pada citra. Cara kerja tapis ini adalah menolak atau meloloskan frekuensi-frekuensi pada suatu frekuensi pusat. Tapis Notch sebenarnya adalah tapis band-reject yang memiliki pita sempit. Gambar 4.22 memperlihatkan grafik perbandingan antara tapis Band reject dan tapis band pass. Gambar 4.23 menunjukkan beberapa proses pemulihan citra.



Gambar 4.22 Tapis band reject dan band pass.



Gambar 4.23 Beberapa Proses Pemulihan Citra (Sulistiyan, 2010)

APPROVAL

BAB 5

PEMAMPATAN CITRA

Berkembangnya teknologi pemampatan citra tidak terlepas dari semakin meningkatnya permintaan akan citra berkualitas tinggi dengan resolusi yang semakin besar. Citra berkualitas tinggi dan beresolusi besar membutuhkan ruang penyimpanan memori yang cukup besar pula. Citra berkualitas tinggi ini diperlukan dibanyak aplikasi, misalnya di bidang kedokteran, bidang hiburan, bidang keamanan, bidang seni dan lain sebagainya.

Jika tidak dilakukan pemampatan pada suatu citra maka citra dengan ukuran 10 Mega piksel dengan kedalaman piksel 24 bit akan membutuhkan ruang penyimpanan minimal sebesar 30 MByte. Artinya jika dimiliki sebuah memori dengan kapasitas 8GByte maka kapasitas memori tersebut hanya dapat menampung 270 gambar.

Tidak dipungkiri saat ini memori sudah sedemikian murah, akan tetapi perkembangan dunia elektronika juga demikian pesatnya sehingga perangkat pengambil citra juga mengalami perkembangan yang pesat. Saat ini alat pengambil data citra sudah memiliki kemampuan resolusi yang cukup besar, selain itu juga kemampuan menyimpan kedalaman warnanya juga berkembang.

5.1 Redundansi Data

Pemampatan merupakan proses mereduksi ukuran suatu data untuk menghasilkan representasi digital yang padat namun tetap dapat mewakili kuantitas informasi yang terkandung pada data tersebut. Cara pemampatan adalah mengurangi data berlebihan (*redundancy data*) karena sering bagian-bagian data tersebut berulang untuk mewakili sebuah informasi yang sama.

Data citra sangat tepat untuk dimampatkan karena adanya faktor-faktor sebagai berikut:

1. Pada sebuah citra terdapat hubungan antara suatu piksel dengan piksel tetangganya yang signifikan, hal ini disebut dengan korelasi spasial (*spatial correlation*).
2. Pada data video terdapat korelasi yang signifikan antara frame satu dengan lainnya pada segmen waktu yang berbeda-beda, hal ini disebut dengan korelasi temporal (*Temporal Correlation*).
3. Pada data citra atau yang lainnya yang diambil menggunakan banyak sensor terdapat korelasi yang signifikan antar sampel dari sensor-sensor tersebut, hal ini disebut dengan korelasi spektral (*Specktral correlation*).

Jika diketahui jumlah satuan informasi dua himpunan data yang mewakili data yang sama (n_1 dan n_2) maka redundansi data relatif (R_D) dari himpunan data pertama dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$R_D = 1 - \frac{1}{C_R} \quad (5.1)$$

Di mana C_R adalah perbandingan pemampatan (*Compression Ratio*) yang besarnya dinyatakan dalam persamaan:

$$C_R = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.2)$$

Redundansi data tinggi jika nilai R_D mendekati 1 atau jika n_2 jauh lebih kecil daripada n_1 dan redundansi data kecil jika R_D mendekati minus tak hingga atau jika n_2 jauh lebih besar daripada n_1 .

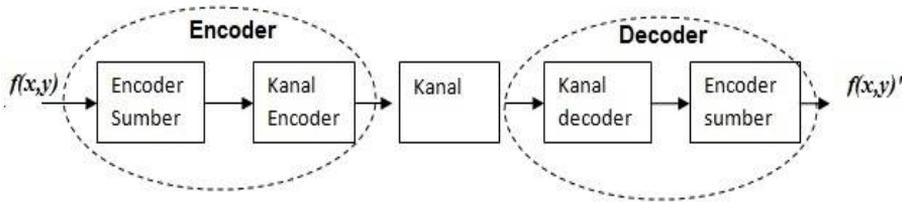
Terdapat 3 jenis redundansi data dalam pemampatan data yaitu *coding redundancy*, *interpixel redundancy*, dan *psychovisual redundancy*. *Coding redundancy* terjadi jika suatu kode simbol yang digunakan dalam menyatakan intensitas piksel melebihi jumlah bit yang diperlukan. Teknik eliminasinya dengan cara mengubah pengkodeannya yaitu jika tingkat keabuan yang probabilitas terjadinya tinggi maka dikodekan pendek, dan jika sebaliknya maka dikodekan panjang. Biasanya digunakan dalam pengkodean Huffman.

Interpixel redundancy terjadi karena adanya korelasi antara piksel dengan piksel tetangganya. Teknik eliminasinya dengan mengubah representasi citra yaitu citra tidak dinyatakan dalam bentuk matriks dari intensitas piksel-pikselnya tetapi dinyatakan dalam bentuk pemetaan perbedaan intensitas antar piksel yang bersebelahan. Pemampatannya bersifat *reversible* artinya dapat direkonstruksi untuk kembali menjadi citra asalnya. Biasanya dipergunakan dalam pengkodean *Run Length*.

Psychovisual redundancy terjadi karena fenomena dimana intensitas keabuan yang seharusnya bervariasi terlihat sebagai intensitas konstan hal ini disebabkan karena kekurangan mata manusia dalam membedakan warna. Mata manusia tidak memiliki sensitivitas yang sama terhadap semua informasi. Teknik eliminasinya menggunakan kuantisasi. Biasanya digunakan dalam pemampatan kuantisasi (*Quantizing Compression*).

5.2 Proses Pemampatan Citra

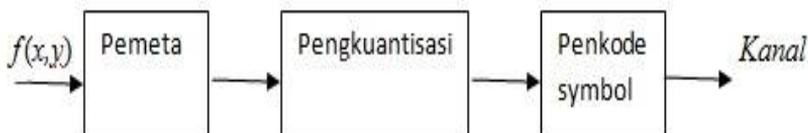
Model kompresi data diperlihatkan pada Gambar 7.1. Terdapat dua bagian utama yaitu bagian *encoder* dan *decoder*. Fungsi encoder adalah membuat representasi simbol-simbol dari citra masukan atau membuat citra masukan termampatkan atau melakukan fungsi pemampatan. Setelah melalui kanal maka citra hasil encoder masuk ke system decoder. Decoder berfungsi merekonstruksi kembali sehingga dapat dilihat kembali atau melakukan fungsi penirmampatan.



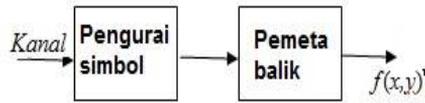
Gambar 5.1 Model Umum Proses Pemampatan Citra

Pada bagian encoder terdiri dari 3 proses yaitu pemeta (*mapper*), pengkuantisasi (*quantizer*), dan pengkode symbol (*symbol encoder*). Pemeta berfungsi untuk menghilangkan *interpixel redundancy* dengan cara mengubah format citra input menjadi format lain. Perubahan ini bersifat *reversible* atau dapat dikembalikan ke kondisi semula. Pengkuantisasi berfungsi untuk menghilangkan *Psychovisual redundancy* dengan cara melakukan proses kuantisasi terhadap hasil dari proses sebelumnya (pemeta). Bagian ini tidak bersifat *reversible* atau *irreversible* yang berarti informasi tidak dapat dikembalikan ke keadaan semula. Pada bagian ini terdapat informasi yang hilang. Bagian terakhir pembuat kode untuk menyatakan keluaran dari pengkuantisasi dengan cara memetakan setiap keluaran dari pengkuantisasi ke dalam kode yang disepakati. Bagian ini berfungsi menghilangkan *coding redundancy*. Gambar 7.2 memperlihatkan bagian-bagian dalam encoder.

Bagian decoder memiliki fungsi kebalikan dari bagian encoder. Hanya pada bagian decoder tidak terdapat pengkuantisasi hal ini disebabkan karena proses kuantisasi dari encoder tidak dapat dilakukan proses balik. Gambar 7.3 memperlihatkan bagian-bagian dalam decoder.



Gambar 7.2 Sumber Encoder



Gambar 5.3 Sumber Decoder

5.3 Kriteria Pemampatan Citra

Dalam merancang metode pemampatan citra terdapat beberapa hal yang perlu dijadikan ukuran keberhasilan metode yang diusulkan, yaitu:

1. Waktu

Waktu yang dibutuhkan dalam pemampatan dan penirmampatan merupakan faktor penting. Semakin singkat waktu yang dibutuhkan dalam pemampatan dan penirmampatan maka akan semakin baik. Pemakai akan mencoba beralih metode yang memberikan waktu pemampatan dan penirmampatan lebih singkat bila waktu yang diberikan suatu metode dianggap terlalu lama. Hal ini terkait pada efisiensi waktu.

2. Ukuran

Ukuran merupakan pertimbangan kedua. Hal ini terkait dengan efisiensi kapasitas memori. Sebuah metode pemampatan akan bernilai baik jika hasil pemampatan memberikan ukuran yang jauh lebih kecil. Ukuran ini sangat tergantung dengan kondisi citra saat diambil. Ukuran yang dihasilkan pemampatan dapat berukuran kecil jika banyak terjadi elemen duplikasi, misalnya citra diambil pada saat langit tanpa banyak berawan atau citra diambil pada malam hari dimana mayoritas gelap.

3. Kualitas

Kualitas pemampatan terkait dengan informasi yang terkandung dalam citra. Kualitas pemampatan biasanya berbanding terbalik dengan ukuran hasil pemampatan. Artinya semakin kecil ukuran memori yang dihasilkan pemampatan maka akan semakin banyak informasi yang hilang akibat pemampatan.

Kualitas citra bersifat subyektif dan relatif artinya setiap orang memiliki standar yang berbeda. Sehingga antar pengamat akan memberikan penilaian yang mungkin berbeda pada citra yang sama.

4. Format

Pertimbangan format merupakan pertimbangan terakhir yaitu lebih terkait dengan kecocokan penggunaan berkas yaitu apakah lebih cocok untuk pengiriman atau untuk penyimpanan.

5.4 Pengukuran Hasil Pemampatan

Terdapat dua kriteria pengukuran kebenaran hasil proses pemampatan, yaitu kriteria subyektif dan kriteria obyektif. Kriteria subyektif dilakukan dengan melakukan polling atau membagikan kuesioner kepada beberapa orang yang ditunjuk untuk menilai kualitas hasil pemampatan menurut pengamatan mereka. Penilaian dilakukan dengan membandingkan citra asli dengan citra hasil pemampatan secara visual.

Kriteria obyektif diperlukan untuk mendapatkan data matematis kemiripan antara citra asli dengan citra hasil pemampatan. Hasil pengukuran ini dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan distorsi antara citra asli dengan citra hasil pemampatan. Oleh karena itu kriteria ini disebut juga dengan *Difference Distortion Measure*. Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengukur distorsi yang terjadi, yaitu:

1. Galat kuadrat (*Square Error*)

$$error = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y)' - f(x, y))^2 \quad (5.3)$$

2. Perbedaan mutlak (*Absolute Difference/AD*)

$$error = \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |f(x, y)' - f(x, y)| \quad (5.4)$$

3. Rerata galat kuadrat (*Mean Square Error/MSE*)

$$error = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y)' - f(x, y))^2}{M \times N} \quad (5.5)$$

4. Perbandingan sinyal dan derau (*Signal To Noise Ratio/SNR*)

$$SNR = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y)')^2}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y)' - f(x, y))^2} \quad (5.6)$$

5. Perbandingan sinyal puncak dengan derau (*Peak Signal to Noise Ratio/PSNR*)

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{\max |f(x, y)'|}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^M (f(x, y)' - f(x, y))^2} \quad (5.7)$$

6. Rerata perbedaan mutlak (*Average of Absolute Difference/AAD*)

$$error = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N |f(x, y)' - f(x, y)|}{M \times N} \quad (5.8)$$

7. Nilai maksimum dari besaran Galat (*Maximum Value of Error Magnitude/MVEM*)

$$error = \max |f(x, y)' - f(x, y)| \quad (5.9)$$

5.5 Klasifikasi Metode Pemampatan Citra

Metode pemampatan citra digital dapat diklasifikasikan kedalam 2 kelompok, yaitu Metode Lossless dan metode Lossy. Metode lossless menghasilkan citra hasil pemampatan persis seperti citra aslinya. Artinya pada saat penirmampatan dilakukan tidak ada informasi yang hilang karena pemampatan. Metode pemampatan yang data hasil pemampatannya dapat dinirmampatkan lagi dan hasilnya tepat sama seperti sebelum proses pemampatan. Sehingga metode ini juga disebut dengan metode pemampatan *error free compression*. Pada metode ini tidak terdapat proses kuantisasi hanya pengkodean dan pemetaan. Metode ini cocok digunakan untuk berkas citra medis yang menghendaki informasi sepenuhnya.

Metode lossy menghasilkan citra hasil pemampatan yang diijinkan kehilangan informasi pada sebagian data citra. Bagian data citra yang tidak berguna dibuang. Penghilangan sebagian data ini tidak begitu dirasakan

dan dilihat oleh manusia. Penirmpatan hasil metode ini akan memberikan citra yang tidak sama dengan aslinya akan tetapi informasi yang hilang tidak sampai mengganggu secara visual. Metode ini cocok digunakan untuk penyimpanan citra hasil fotografi. Biasanya dalam kamera digital sudah disertakan program pemampat file citra hasil foto sehingga foto yang disimpan dapat berukuran kecil.

Perbedaan lain antara metode Lossless dengan metode Lossy adalah besarnya rasio hasil pemampatan. Metode Lossless akan memberikan hasil rasio yang lebih kecil disbanding metod Lossy. Hal ini dikarenakan pada metode Lossless citra hasil pemampatan diharuskan sama persis dengan citra asli sedangkan pada metod Lossy diijinkan kehilangan informasi. Rasio pemampatan citra ini secara matematis dinyatakan dalam persamaan:

$$\text{Rasio} = 100\% - \left(\frac{\text{ukurancitrahasilpemampatan}}{\text{ukurancitraasli}} \times 100\% \right) \quad (5.10)$$

5.6 Metode Pemampatan

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pemampatan citra. Metode tersebut didasarkan pada 4 pendekatan, yaitu pendekatan kuantisasi, pendekatan statistik, pendekatan ruang, dan pendekatan fractal. Pendekatan kuantisasi adalah metode pemampatan yang dalam proses pemampatannya dengan cara mengurangi tingkat keabuan atau warna yang tersedia. Pendekatan statistik didasarkan pada frekuensi kemunculan tingkat keabuan atau warna piksel di dalam seluruh bagian citra. Pendekatan ruang didasarkan pada hubungan spasial antar piksel dalam suatu kelompok yang memiliki tingkat keabuan atau warna yang sama di dalam seluruh citra. Sedangkan pendekatan fractal didasarkan pada kemiripan bentuk bagian-bagian dalam citra yang dapat dieksploitasi dengan suatu matriks transformasi.

5.6.1 Metode Kuantisasi

Metode ini merupakan metode paling sederhana dalam pemampatan citra. Metode ini dilakukan dengan cara mengurangi jumlah tingkat keabuan

atau warna ada citra, misalnya dari 256 menjadi 16. Pengurangan ini membuat jumlah bit untuk merepresentasikan sebuah piksel juga ikut berkurang akibatnya ukuran berkas citra juga menjadi lebih kecil. Kekurangan dari metode ini adalah adanya informasi yang hilang. Metode kuantisasi merupakan metode pemampatan lossy. Algoritma metode ini adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 buat histogram dari citra asli
- Langkah 2 identifikasi menjadi n buah kelompok di dalam histogram tersebut sehingga tiap kelompok memiliki jumlah probabilitas yang setara.
- Langkah 3 Nyatakan tiap kelompok kedalam tingkat keabuan atau warna dari 0 hingga $n-1$. Tiap piksel dikodekan dengan nilai tingkat keabuan atau warna yang baru.

Contoh:

Citra berukuran 5×5 piksel dengan kedalaman 3 bit dimampatkan dengan metode kuantisasi menjadi citra 2 bit (4 tingkat keabuan). Hitunglah rasio pemampatannya dan tuliskan hasil pemampatannya.

0	0	1	1	4
0	1	2	4	5
1	4	4	3	5
6	1	3	3	7
5	2	3	6	6

Histogram citra asli adalah:

```

0 ***
1 *****
2 **
3 ****
4 ****
5 ***
6 ***
7 *

```

Terdapat 25 piksel dan akan dikelompokkan menjadi 4 kelompok tingkat keabuan, sehingga rata-rata per kelompok berisi $25/4 = 6$ buah piksel. Maka kelompok yang didapat adalah:

	0 ***	
8	1 *****	0
<hr/>		
	2 **	
6	3 ****	1
<hr/>		
	4 ****	
7	5 ***	2
<hr/>		
	6 ***	
4	7 *	3
<hr/>		

Maka citra hasil pemampatan adalah

0	0	0	0	2
0	0	1	2	2
0	2	2	1	2
3	0	1	1	3
2	1	1	3	3

Ukuran file sebelum pemampatan adalah 25 piksel x 4 bit = 100 bit

Ukuran file setelah pemampatan adalah 25 piksel x 3 bit = 75 bit

Rasio pemampatan = $100\% - (75/100 \times 100\%) = 25\%$

Artinya bahwa proses pemampatan berhasil memampatkan 25% dari citra semula.

5.6.2 Metode Huffman

Metode Huffman merupakan metode yang telah banyak digunakan dalam aplikasi pemampatan citra. Metode ini menggunakan pendekatan statistik dalam mengkodekan intensitas baru citra. Prinsip dari metode ini adalah intensitas piksel yang sering muncul dikodekan dengan kode yang lebih pendek sedangkan yang jarang muncul dikodekan lebih panjang.

Algoritma metode Huffman adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 Cari masing-masing frekuensi kemunculan intensitas tiap piksel.
- Langkah 2 Urutkan secara menaik intensitas tingkat keabuan berdasarkan frekuensi kemunculan tiap intensitas atau berdasarkan peluang kemunculan tiap intensitas. Setiap tingkat keabuan dinyatakan sebagai pohon bersimpul tunggal dan diberikan tanda frekuensi kemunculan tingkat keabuan tersebut.
- Langkah 3 Dua buah pohon dengan frekuensi terkecil digabungkan untuk membentuk sebuah akar yang baru dengan nilai frekuensi penjumlahan dari dua buah frekuensi pohon tersebut.
- Langkah 4 Ulangi langkah 2 dan 3 hingga tersisa hanya satu buah pohon.
- Langkah 5 Beri label 1 untuk sisi kanan pohon biner dan 0 untuk sisi kiri pohon biner. Tingkat keabuan pada citra asal dinyatakan melalui simpul-simpul daun pada pohon biner.
- Langkah 6 Setiap piksel di dalam citra dikodekan dengan cara menelusuri pohon biner dari akar ke daun. Barisan label-label tersebut menyatakan kode Huffman untuk tingkat keabuan yang sesuai. Artinya kode Huffman merupakan kode unik dimana tidak ada kode biner tingkat keabuan yang sama untuk tingkat keabuan berbeda. Sehingga pada proses penrimampatan tidak terjadi ambiguitas dan salah dalam menterjemahkan kode pemampatan.

Contoh pemampatan menggunakan metode Huffman diperlihatkan pada kasus berikut: Sebuah citra 3 bit dengan ukuran 10 x 10 piksel diperlihatkan di bawah

5	5	7	7	7	6	6	6	6	6
7	7	6	6	6	6	5	5	4	4
6	6	5	5	5	5	5	5	3	3
5	5	5	3	3	3	3	3	3	2
7	7	6	6	6	5	5	5	5	5
0	0	7	7	7	7	7	5	4	3
0	6	6	6	2	2	2	2	2	2
0	1	1	2	2	2	2	2	2	3
2	2	3	3	3	3	5	5	5	5
0	0	0	0	1	0	0	4	4	4

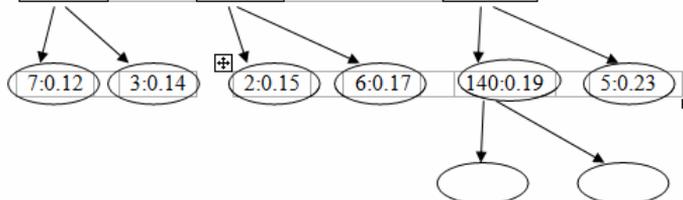
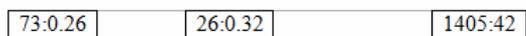
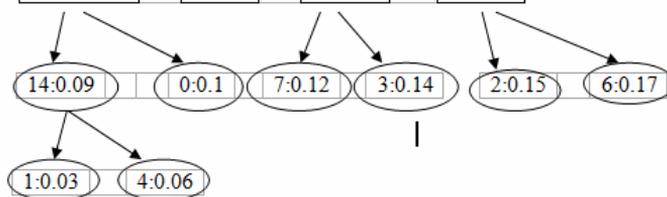
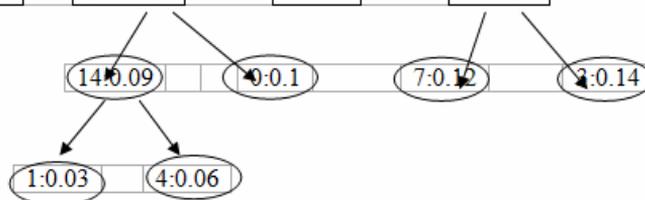
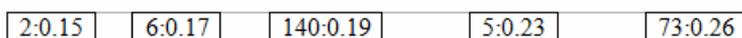
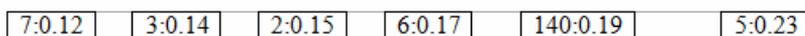
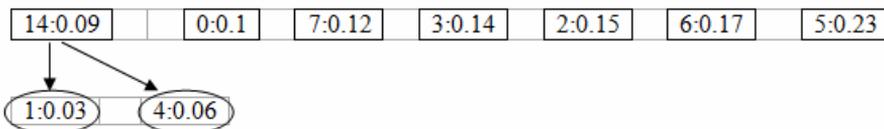
Menggunakan Huffman Coding

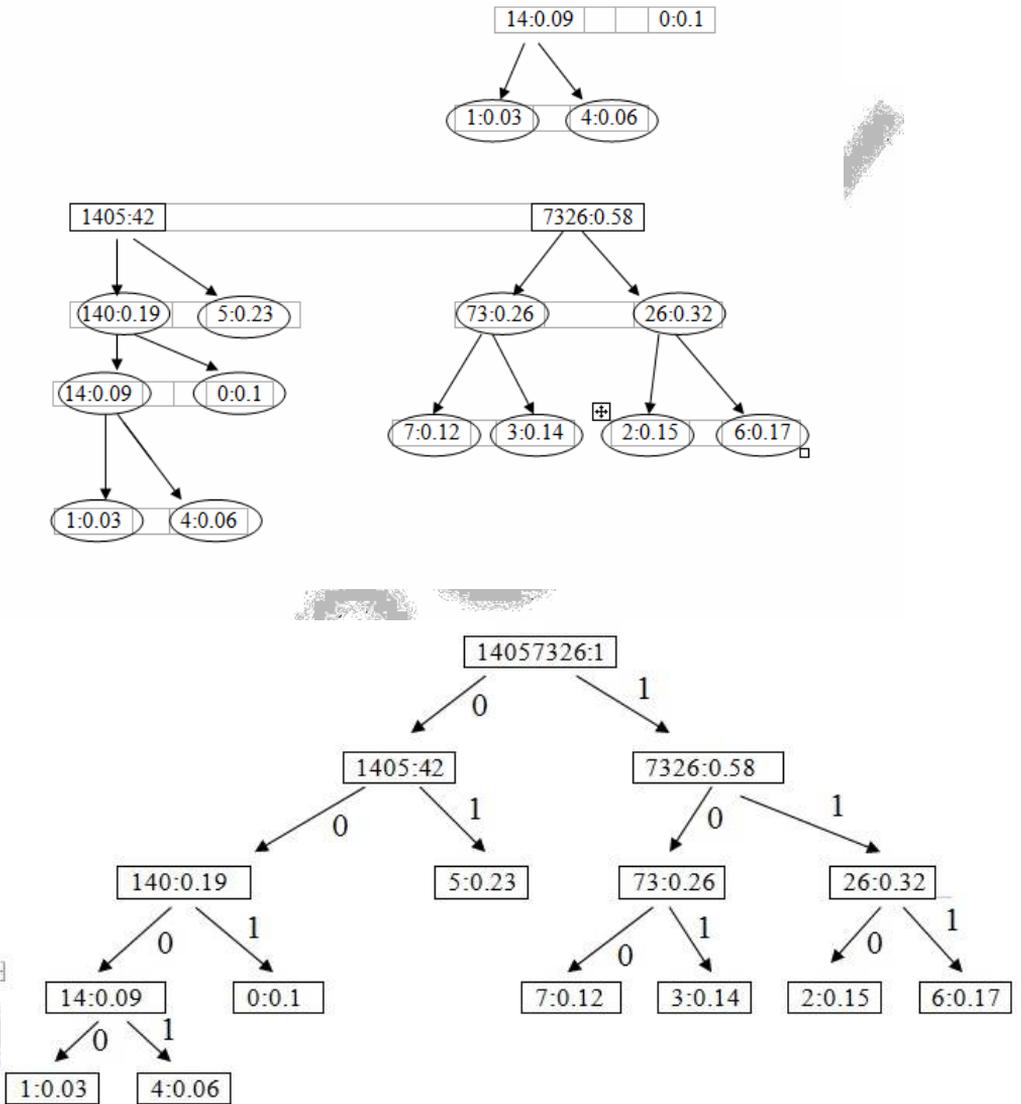
Cari Nilai probabilitas masing-masing intensitas!

k	N_k	$P(k)$
0	10	0.1
1	3	0.03
2	15	0.15
3	14	0.14
4	6	0.06
5	23	0.23
6	17	0.17
7	12	0.12

Urutkan dari yang terkecil!

Urutkan dari yang terkecil!





Dari pohon Huffman tersebut kita memperoleh kode untuk setiap derajat keabuan sebagai berikut:

- | | | | |
|---|--------|---|--------|
| 0 | : 001 | 4 | : 0001 |
| 1 | : 0000 | 5 | : 01 |
| 2 | : 110 | 6 | : 111 |
| 3 | : 101 | 7 | : 100 |

Rasio kompresi dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Rasio} = 100\% - (\text{Ukuran Citra setelah dikompresi} / \text{Ukuran citra semula}) \times 100\%$$

$$\text{Ukuran citra semula} = 10 \times 10 \times 3 = 300 \text{ bit}$$

$$\text{Ukuran citra setelah dikompresi} = 23 \times 2 + 9 \times 4 + 68 \times 3 = 286 \text{ bit}$$

$$\text{Rasio} = 100\% - (286/300 \times 100\%) = 4,67\%$$

5.6.3 Metode Pemampatan Run Length Encoding

Metode ini sangat cocok untuk pemampatan pada citra yang memiliki kelompok-kelompok piksel berderajat sama. Setiap deret piksel dengan intensitas yang sama dikompres menjadi pasangan nilai (p,q) yang menyatakan banyaknya piksel (p) dan nilai intensitas piksel tersebut (q). Metode Run Length encoding juga merupakan metode pemampatan lossless.

Contoh pemampatan menggunakan metode Run Length Encoding diperlihatkan pada kasus berikut: Sebuah citra 3 bit dengan ukuran 10×10 piksel diperlihatkan di bawah

5	5	7	7	7	6	6	6	6	6
7	7	6	6	6	6	5	5	4	4
6	6	5	5	5	5	5	5	3	3
5	5	5	3	3	3	3	3	3	2
7	7	6	6	6	5	5	5	5	5
0	0	7	7	7	7	7	5	4	3
0	6	6	6	2	2	2	2	2	2
0	1	1	2	2	2	2	2	2	3
2	2	3	3	3	3	5	5	5	5
0	0	0	0	1	0	0	4	4	4

Pasangan nilai untuk setiap baris run yang dihasilkan dengan metode pemampatan RLE:

(5:2) (7:3) (6:5)

(7:2) (6:4) (5:2) (4:2)

(6:2) (5:6) (3:2)

(5:3) (3:6) (2:1)

(7:2) (6:3) (5:5)
 (0:2) (7:5) (5:1) (4:1) (3:1)
 (0:1) (6:3) (2:6)
 (0:1) (1:2) (2:6) (3:1)
 (2:2) (3:4) (5:4)
 (0:4) (1:1) (0:2) (4:3)

Semuanya ada 35 pasang: nilai derajat keabuan dikodekan 3 bit dan jumlah piksel yang berurutan dikodekan dalam 3 bit, maka ukuran file setelah dikompresi adalah:

$$35 \times 3 + 35 \times 3 = 210 \text{ bit}$$

Maka rasio kompresi metode RLE :

$$\text{Rasio} = 100\% - (210/300 \times 100\%) = 30\%$$

5.6.4 Metode Shannon-Fano

Metode ini tergantung ada probabilitas setiap intensitas piksel yang muncul pada suatu data. Dari probabilitas yang didapatkan dibuat daftar kode untuk setiap intensitas dengan ketentuan bahwa setiap intensitas yang berbeda memiliki kode yang berbeda pula. Dan intensitas yang memiliki probabilitas paling kecil (jarang muncul) memiliki jumlah kode dengan bit yang lebih panjang dan sebaliknya. Pada metode ini walaupun panjang kode dapat berbeda tapi intensitas dapat didekode secara unik.

Algoritma metode Shannon-Fano adalah sebagai berikut:

- Langkah 1 Membuat daftar untuk frekuensi kemunculan setiap intensitas piksel pada citra.
- Langkah 2 Mengurutkan daftar frekuensi kemunculan intensitas piksel dari yang paling sering muncul hingga yang paling kecil kemungkinannya.
- Langkah 3 Membagi daftar yang dibuat menjadi dua bagian yaitu bagian atas dan bagian bawah dengan dasar jumlah total frekuensi kemunculan tiap bagian tidak terlalu terpaut jauh.

Langkah 4 Mengkodekan bagian atas dengan 0 dan bagian bawah dengan 1, sehingga kode bagian atas akan dimulai dengan 0 dan bagian bawah dengan 1.

Langkah 5 Kembali melakukan langkah 3 dan 4 untuk bagian atas dan bagian bawah hingga semua terbagi menjadi setiap bagian terdiri satu frekuensi.

Contoh pemampatan menggunakan metode Shannon-Fano diperlihatkan pada kasus berikut: Sebuah citra 3 bit dengan ukuran 10 x 10 piksel diperlihatkan berikut

5	5	7	7	7	6	6	6	6	6
7	7	6	6	6	6	5	5	4	4
6	6	5	5	5	5	5	5	3	3
5	5	5	3	3	3	3	3	3	2
7	7	6	6	6	5	5	5	5	5
0	0	7	7	7	7	7	5	4	3
0	6	6	6	2	2	2	2	2	2
0	1	1	2	2	2	2	2	2	3
2	2	3	3	3	3	5	5	5	5
0	0	0	0	1	0	0	4	4	4

Langkah 1: Membuat daftar dari frekuensi kemunculan intensitas piksel

k	N_k
0	10
1	3
2	15
3	14
4	6
5	23
6	17
7	12

Langkah 2: Mengurutkan secara menurun dari intensitas berfrekuensi tinggi ke rendah.

k	N_k
5	23
6	17
2	15
3	14
7	12
0	10
4	6
1	3

Langkah 3, 4, 5: Membagi menjadi 2 bagian dengan masing-masing memiliki frekuensi hampir setara.

k	N_k				
5	23	0	0		
6	17	0	1	0	
2	15	0	1	1	
3	14	1	0	0	
7	12	1	0	1	
0	10	1	1	0	
4	6	1	1	1	0
1	3	1	1	1	1

Dari pohon metode Shannon- Fano tersebut diperoleh kode untuk setiap tingkat keabuan sebagai berikut:

0	: 110	4	: 1110
1	: 1111	5	: 00
2	: 011	6	: 010
3	: 100	7	: 101

Rasio kompresi dapat dihitung dengan persamaan:

Rasio = $100\% - (\text{Ukuran Citra setelah dikompresi} / \text{Ukuran citra semula}) \times 100\%$

Ukuran citra semula = $10 \times 10 \times 3 = 300$ bit

Ukuran citra setelah dikompresi = $23 \times 2 + 9 \times 4 + 68 \times 3 = 286$ bit

Rasio = $100\% - (286/300 \times 100\%) = 4,67\%$

Metode Shannon-Fano ini mirip dengan metode Huffman dan hasilnya pun sama.

-oo0oo-

APPROVAL

BAB 6

PENGURAIAN DAN REKOSTRUKSI CITRA

6.1 Penguraian Citra

Penguraian atas unsur-unsur atau/dan komponen-komponennya. Pasti komponen dapat dalam kawasan ruang (spasial), kawasan frekuensi spasial, kawasan frekuensi spektral dan atas bentuk objek-objeknya. Ciri (spasial, spektral, temporal dan bentuk fisis) dari sederhana kuantitatif sifatnya yang bersifat subjektif dan kualitatif tergantung subjek pengolahannya. Yang bersifat subjektif lebih banyak dipresentasikan dengan simbolik presentation.

Modalnya:

1. Ekstraksi ciri;
2. Segmentasi; dan
3. Klasifikasi.

Ketiganya tergantung pada masalah yang dihadapi dan kebutuhan yang telah ditentukan. Bentuk-bentuk fisis terdapat sejumlah ragam, masing-masing ragam dapat dipilah lagi berdasar ukuran dan momen-momennya (Gambar 6.1).

Orde 1 → pusat ragam bentuk

Orde 2 → Momen putar ke arah $-x$ dan ke arah $-y$

Orde 3 → Skewness (kemencengan/ketidaksimetrisan)

Orde 4 → Kurtosis (kemerataan sebaran piksel)

Entropi → Nilai/bobot informasi.

Entropi : Keluasan dan pemerataan sebaran (terutama untuk tekstur)

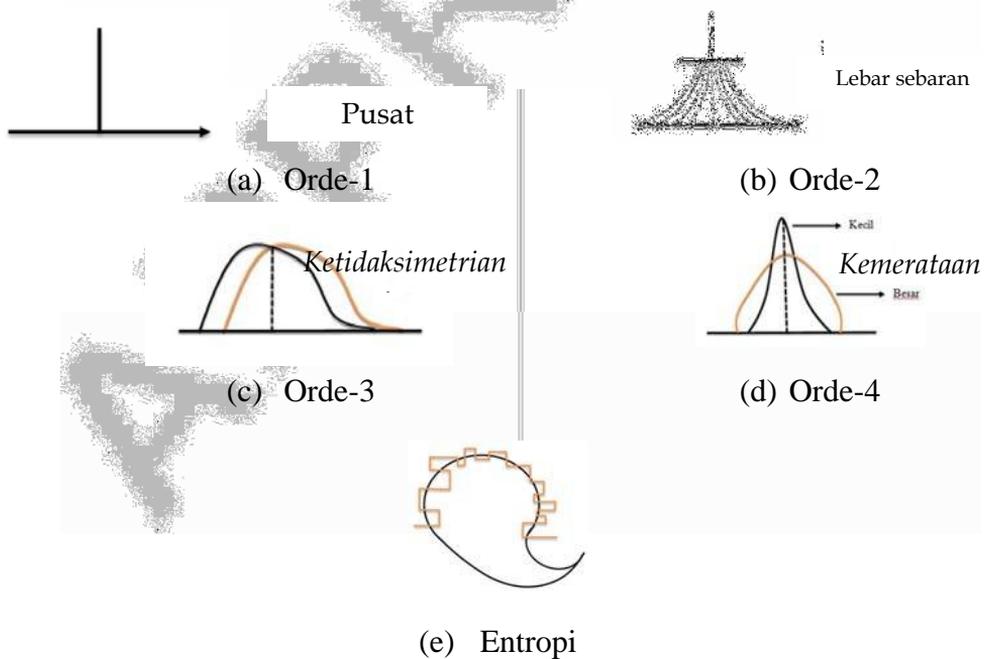
Karena sumbu koordinat hanya 2 yaitu x dan y, maka perumusan variasi intensitas setiap langkah hanya ke arah-x atau ke arah-y saja.

Langkah setiap satu piksel atau dua, tiga, dan sebagainya. Pilihan tergantung tebal garis, agar satu langkah dapat membentuk setebal garis.

Data lengkap mengenai objek seutuhnya menjadi data bentuk objek yang dilacak garis tepinya. Sifat garis = pembatas objek

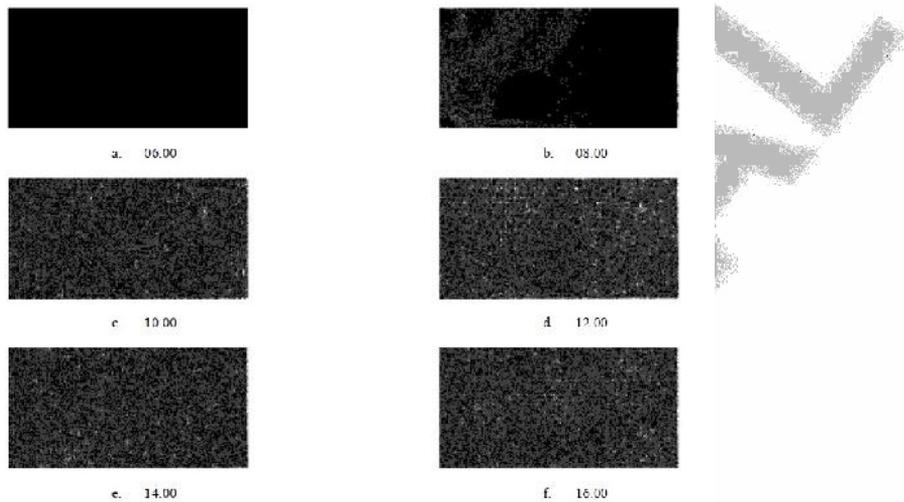
1. Lurus
2. Lengkung → cembung atau cekung
3. Jari-jari kelengkungan

Contoh: objek mikrobiologi (bakteri) serta mikro objek yang lain.

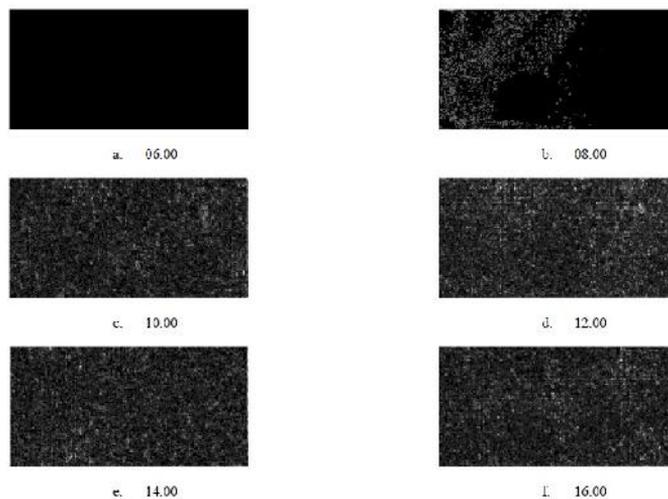


Gambar 6.1 Aneka Bentuk Ragam Berdasar Ukuran dan Momen-Momennya

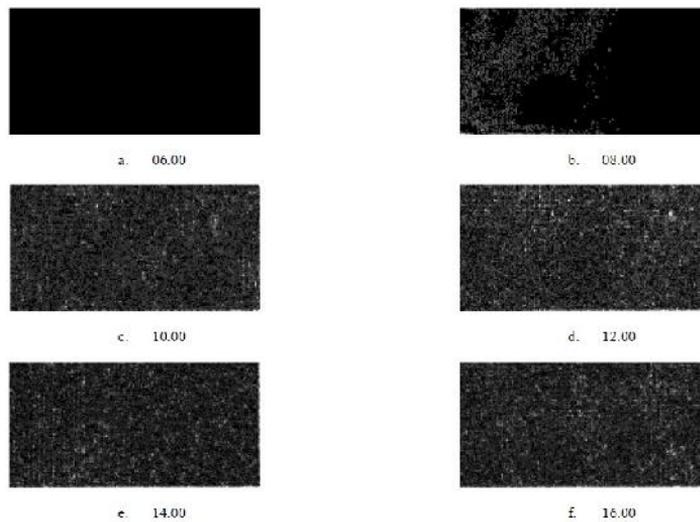
Contoh segmentasi dapat dilihat pada Gambar 6.2 untuk 4 segmen, Gambar 6.3 untuk 8 segmen, dan Gambar 6.4 untuk 16 segmen.



Gambar 6.2 Segmentasi dengan 4 Segmen (Sulistiyanti, 2015)



Gambar 6.3 Segmentasi dengan 8 Segmen (Sulistiyanti, 2015)

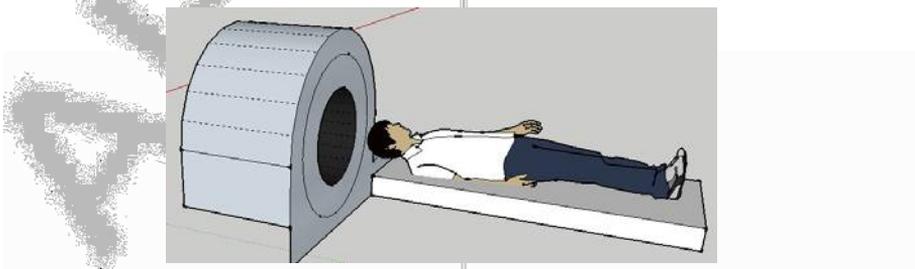


Gambar 6.4 Segmentasi dengan 16 Segmen (Sulistiyanti, 2015)

6.2 Rekonstruksi Citra

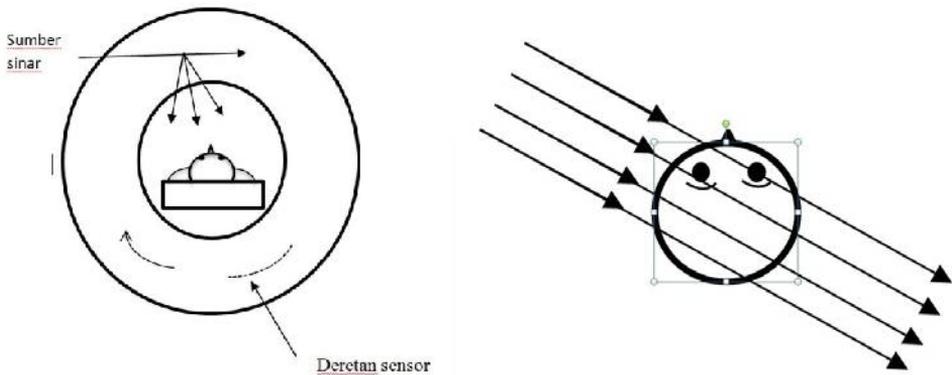
Pada sistem pencitraan yang rumit, data yang didapat sekedar proyeksinya saja. Hal ini terpaksa dijalani karena citra penampang suatu objek 3D harus direkonstruksi dari proyeksi-proyeksinya.

Contoh: Perolehan citra penampang otak manusia (Gambar 6.5)



Gambar 6.5 Citra Penampang Otak Manusia

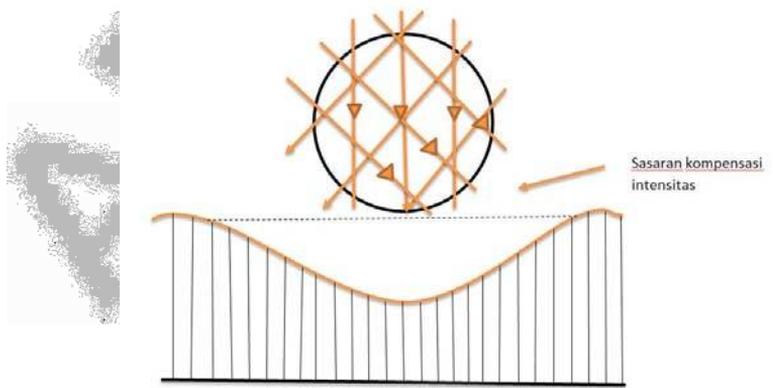
Di dalam “donat” besar tersebut terdapat sumber-sumber “sinar” dan seperangkat detektor penangkap sinar. Dipandang dari arah sumbu panjang “donat”. Gambar 6.6 penampang posisi sumber sinar dan kepala.



Gambar 6.6 Posisi sumber sinar dan kepala

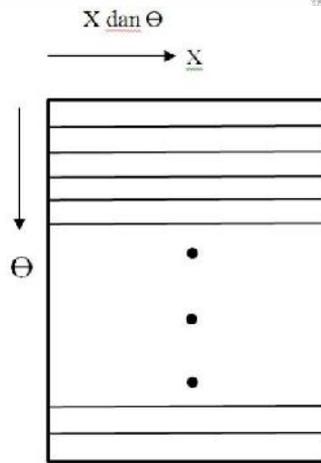
Dengan demikian yang tertangkap oleh sensor adalah berkas-berkas sinar yang telah melewati objek (kepala orang) sehingga masing-masing berkas akan secara kontinu diserap, dipantulkan, dan atau dibaurkan oleh objek-objek di kepala pasien. Bila perhatian hanya akibat penyusutan oleh otak manusia maka berkas yang berada/ menembus otak di tengah-tengahnya akan mendapatkan penyusutan yang paling besar. Maka citra yang didapat melalui sensor harus dikompensasi dulu besar intensitasnya.

Gambaran sederhana dengan model penampang berbentuk bulat dapat dilihat pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6 Gambaran Sederhana dengan Model Penampang Berbentuk Bulat

Proses kompensasi langsung dilaksanakan sebagai bagian proses perolehan citra proyeksi. Karena adanya objek-objek perhatian “kondisi” otak dapat bertumpang tindih di setiap garis jalannya sinar, maka arah penyinaran harus diubah-ubah yang dapat disebut juga sebagai pemayaran (scanning) angular (sebagai alternatif yang linear (lurus)). Jadi hasil pencitraan berupa citra proyeksi 2D juga, namun dengan sistem koordinat (Gambar 6.7).



Gambar 6.7 Citra Proyeksi 2D

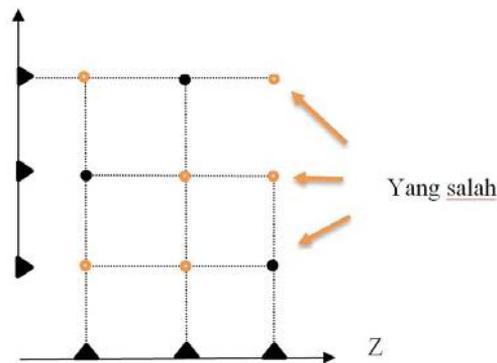


Gambar 6.9 Transformasi Radon sederhana

Dengan demikian diperlukan alihragam/transformasi ke sistem koordinat kartesian x,y . Konsekuensinya: Hasil tingkatan resolusi citra yang didapat tidak “homogen” lagi. Namun dengan sistem transformasi secara

digital (dengan komputer) dapat sekaligus termasuk untuk pemerataan resolusi per piksel di manapun pada sistem koordinat x,y . Hal ini dikenal dengan transformasi Radon. Transformasi Radon dapat lebih sederhana bila sumber sinar banyak dengan arah penyinaran paralel (Gambar 6.8).

Dengan demikian diperlukan sumber sinar laser sejumlah piksel pada satu arah (arah tegak lurus pancaran sinar), misalnya 256, 512, 1024 dst. (2^N). Panjang gelombang sinar laser termasuk yang tidak kasat mata, tetapi daya tembus yang tinggi. Untuk bagian-bagian tubuh yang lunak, telah dibuat juga sistem pencitraan dengan gelombang ultrasonik. Yang paling praktis dalam hal ini adalah peletakan pemancar dan sensor gelombang ultrasonik yang berdampingan. Gambaran tingkat resolusi citra yang diperoleh diperlihatkan pada gambar 6.9 sebagaimana 3 objek berbentuk 3 titik. Maka satu arah proyeksi tentu saja belum dapat untuk mengetahui posisi masing-masing secara benar. x_1 bisa keliru dengan y_2 sehingga perlu arah proyeksi yang lebih banyak. Untuk 3 objek kesalahan bisa 6.



Gambar 6.10 Objek Berbentuk Tiga Titik

Namun dari kedua hasil proyeksi belum dapat dipastikan posisi masing-masing-masing secara benar. Maka diperlukan arah proyeksi yang lebih banyak. Dengan jumlah objek yang makin banyak, jumlah proyeksi juga harus meningkat secara eksponensial. Untuk tiga objek seperti pada contoh di atas paling tidak harus ada 3^2 atau 2^3 (9 atau 8) proyeksi. Dari teori informasi bila diharapkan ada sejumlah yang sama dengan

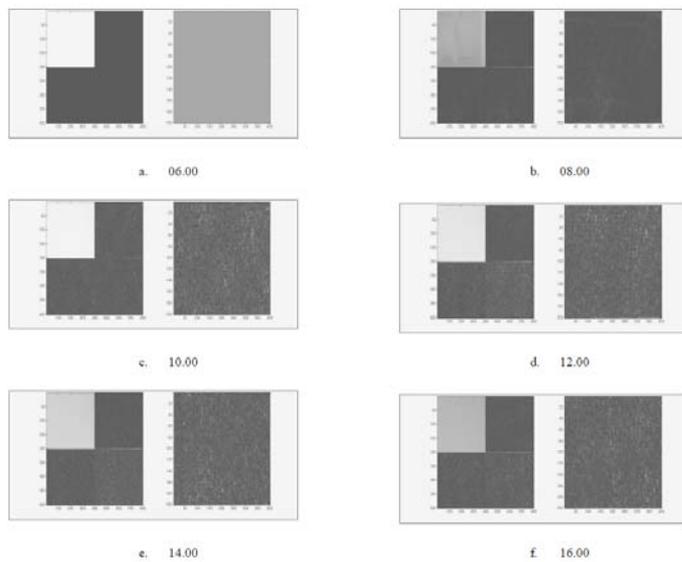
banyaknya piksel misalnya N^2 maka jumlah proyeksi juga mengarah ke besaran N^2 tersebut. Namun dalam praktek khususnya di otak manusia ada objek asing / objek yang tidak diinginkan dalam jumlah 10 saja sudah bermasalah. Bahkan sistem deteksi sedini mungkin adanya satu objek asing atau kelainan harus ditanggapi secara serius.

Di samping itu, sifat fisis otak juga memperlihatkan adanya tekstur yang bersifat normal di samping yang merupakan kelainan. Jadinya kuncinya adalah tergantung pada besaran SNR atau S/N. Karena objek-objek yang merupakan "kelainan" adalah yang dicermati maka objek-objek yang normal menjadi "noise"-nya.

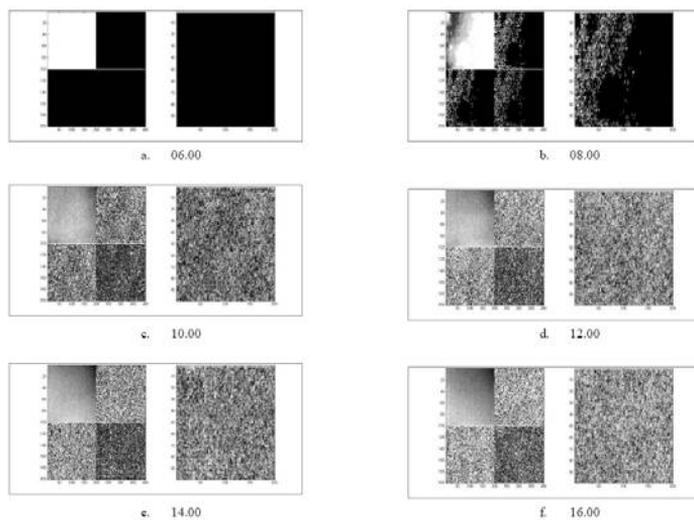
Untuk mengatasi adanya "noise" tersebut maka harus digunakan adanya perbedaan esensial (pokok) antara objek dan "noise". Perbedaan dapat dalam daerah spektrum frekuensinya maupun daerah spasialnya. Maka proses penapisan dapat dilakukan di kawasan (domain) frekuensi ataupun kawasan spasial atau di keduanya. Di kawasan frekuensi berdasar pemilahan bentangan wilayah spektrum masing-masing. Di kawasan spasial berdasar konvolusi dengan tanggapan impuls yang tepat.

Ciri khas suatu sistem termasuk citra yang mengandung informasi tertentu, dapat digali dari tanggapannya terhadap masukan berupa impuls. Untuk objek-objek tertentu yang tenggelam di dalam derau/noise, dapat dipancing dengan menerapkan suatu impuls dengan bentuk khusus. Bentuk khusus impuls telah berkembang digunakan dalam proses alihragam/transform gelombang singkat (wavelet).

Sama halnya dengan gelombang "memanjang" yang berbentuk sinusoida, maka penerapan gelombang singkat yang tepat akan menimbulkan peristiwa resonansi. Demikian asas deteksi adanya objek-objek citra yang khas dapat ditemukan berdasarkan efek resonansi tersebut. Gambar 6.10 merupakan contoh pemanfaatan alihragam Wavelet. Gambar 6.11 merupakan dekomposisi alihragam Wavelet.

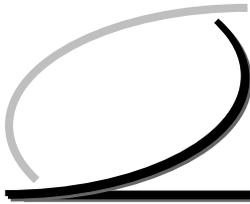


Gambar 6.10 Pemanfaatan Alihragam Wavelet (Sulistiyanti, 2014)



Gambar 6.11 Dekomposisi Wavelet

APPROVAL



DAFTAR PUSTAKA

- Gonzalez, R.C., R. E. Woods, 2008, *Digital Image Processing*, Pearson Prentice Hall.
- Shih, F., Y., 2010, *Image Processing and Patern Recognition Fundamental and Techniques*, John Willy and Son inc. Publication.
- Sulistiyanti, S.R., A. Susanto, T.S. Widodo, G.B. Suparta, 2010, *Noise Filtering on Thermal Images Acquired by Modified Ordinary Digital Camera //, Proceeding International Conference on Electronics and Information Technology (ICEIE)*, Kyoto, Japan, , 1-3 August 2010.
- Sulistiyanti, S.R., Herlinawati, M. Komarudin, 2011, *Fitur Statistik Orde Satu untuk Menentukan Mutu Buah Apel berbasis Citra Termal*, TekTan, *Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian*, Vol. 3 No. 3, Desember 2011, ISSN: 2085-1278, hal: 159-167.
- Sulistiyanti, S.R., M. Komarudin, L. Hakim, A. Yudamson, 2014, *Study of Environmental Condition Using Wavelet Decomposition Based on Infrared Image, Proceeding 2nd International Conferences on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, ISBN: 978-1-4799-6432-1/14/\$31.00, pp. 170 – 174.
- Sulistiyanti, S.R., M. Komarudin, L. Hakim, A. Yudamson, 2015, *Intensity Average Value of Image Segmentation for Infrared Image of Environmental*

Condition, Proceeding 1st International Conferences on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia, ISBN: 978-1-4799-98 63-0/\$31.00, pp. 220 – 224.

Velho, L., A.C. Frery, J. Gomes, 2009, *Image Processing for Computer Graphic.*

Zhou, H., J. Wu, J. Zhang, 2010, *Digital Image Processing Part II, Bookboon.com*

-oo0oo-

