

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan kajian pustaka-pustaka sebelumnya telah banyak dilakukan penelitian tentang restorasi citra digital, dengan hasil-hasil yang sudah di publikasikan baik secara Internasional, Nasional maupun Lokal sebagai berikut ini.

Effendi. (2009), Judul penelitian “RESTORASI CITRA KABUR (BLUR) MENGGUNAKAN ALGORITMA WIENER” telah melakukan penelitian yaitu memperbaiki citra dengan tingkat pengaburan yang berbeda-beda dengan menggunakan algoritma *Wiener*. Penelitian yang dilakukan yaitu menyelidiki kemampuan algoritma dalam memperbaiki degradasi kabur pada citra.. Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan persentase perbaikan yang terjadi setelah pengaplikasian algoritma *Wiener* pada citra kabur yaitu berkisar antara 36.4410% s/d 51.1829%, dengan rata-rata keseluruhan 43.5539%..

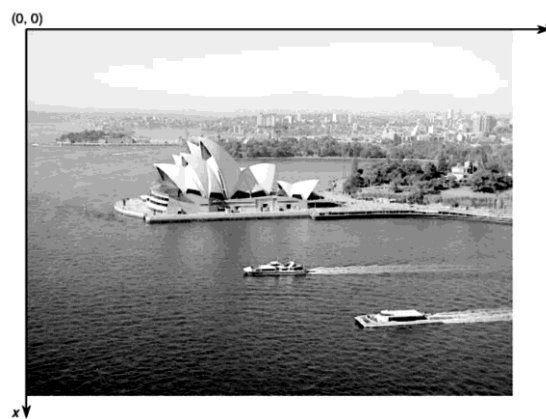
Ningrum. dkk (2011), Judul penelitian “PENAPISAN DERAU GAUSSIAN, SPECKLE DAN SALT&PEPPER PADA CITRA WARNA” telah melakukan penelitian yaitu perbaikan kualitas citra warna yang sengaja dikenakan derau *Gaussian*, *Salt&Pepper* dan *Speckle*, menggunakan metode *Bilateral Filter*. Penelitian ini juga melakukan penapisan derau menggunakan metode *Median Filter* dan *Average Filter* sebagai bahan perbandingan. Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan kombinasi parameter yang memberikan hasil terbaik dalam menapis derau *Gaussian* dan *Speckle* dengan nilai variance noise standar adalah metode *Bilateral Filter* kategori parameter sedang, yaitu $\sigma_s = 2$ dan $\sigma_R = 0.5$. Namun pada penapisan derau *Salt & Pepper*, metode *Median Filter* memberikan hasil terbaik daripada kedua metode yang lain.

2.2. Citra digital

Citra digital adalah citra yang bersifat diskrit yang dapat diolah oleh komputer. Citra ini dapat dihasilkan melalui kamera digital dan *scanner* ataupun citra yang telah mengalami proses digitalisasi. Sebuah citra berukuran 150 x 100 *pixel* dapat

dinyatakan dengan matriks yang berukuran sesuai dengan pikselnya atau biasa dinyatakan dalam ukuran $N \times M$ dimana N untuk baris dan M untuk kolom. Misalnya diambil suatu kotak kecil dari bagian citra direpresentasikan dengan matriks berukuran 9×9 , seperti terlihat pada Gambar 2.1.

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



Gambar 2.1 Representasi Citra Digital

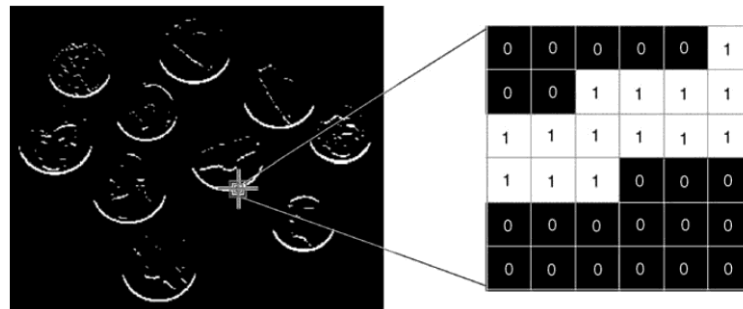
Sumber : Gonzales, dkk (2003 : 25)

Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus (continue) dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (*scanner*), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam. Citra sebagai keluaran dari suatu sistem perekaman data dapat bersifat (Murni, 1992):

1. Optic berupa foto,
2. Analog berupa sinyal video seperti gambar pada monitor televisi,
3. Digital yang dapat langsung disimpan pada suatu pita magnetik.

2.2.1. Citra Biner (1-Bit)

Citra biner dienkodkan sebagai suatu array 2D, umumnya menggunakan 1 bit per piksel, dimana 0 berarti “hitam” dan 1 berarti “putih” (meskipun tidak ada konvensi universal pada hal itu). Keuntungan utama dari representasi ini, yang umumnya cocok untuk citra yang memuat grafika sederhana, teks, atau garis, adalah ukurannya yang kecil. Gambar 2.2 menunjukkan sebuah citra biner (hasil dari sebuah algoritma deteksi tepi) dan sebuah region berukuran 6×6 , dimana piksel-piksel dengan nilai 1 berkaitan dengan tepi-tepi dan piksel-piksel dengan nilai 0 berkaitan dengan latar.



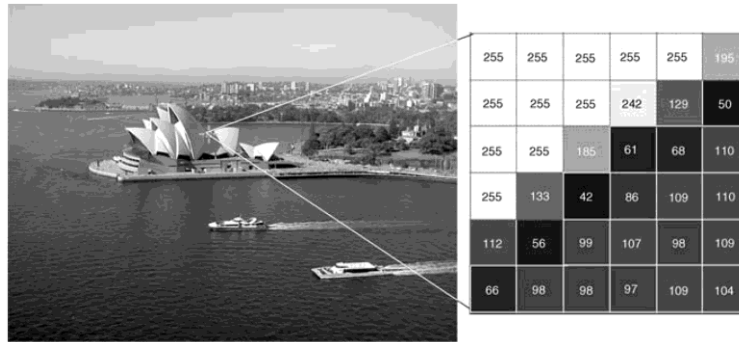
Gambar 2.2 Sebuah citra biner dengan nilai-nilai piksel di dalam sebuah region 6×6

2.2.2. Citra Keabuan (8-Bit)

Citra keabuan (yang juga dikenal dengan citra monokrom) dapat pula dienkodkan sebagai sebuah array 2D yang memuat nilai-nilai pikselnya, umumnya dengan 8 bit per piksel, dimana nilai piksel 0 berkaitan dengan “hitam”, nilai piksel 255 berkaitan dengan “putih”, dan nilai-nilai di antara kedua nilai tersebut mengindikasikan intensitas keabuan yang bervariasi.

Banyak total aras (level) keabuan lebih besar dari kemampuan dari sistem visual manusia (dimana, pada hampir semua kasus, manusia tidak dapat membedakan apapun yang melebihi 64 aras keabuan), yang membuat format ini sebagai kompromi yang tepat antara kualitas visual subjektif dan representasi dan penyimpanan yang kompak (efisien).

Gambar 2.3 menunjukkan sebuah citra keabuan dan sebuah region berukuran 6×6 , dimana piksel-piksel cerah berkaitan dengan nilai-nilai yang besar.

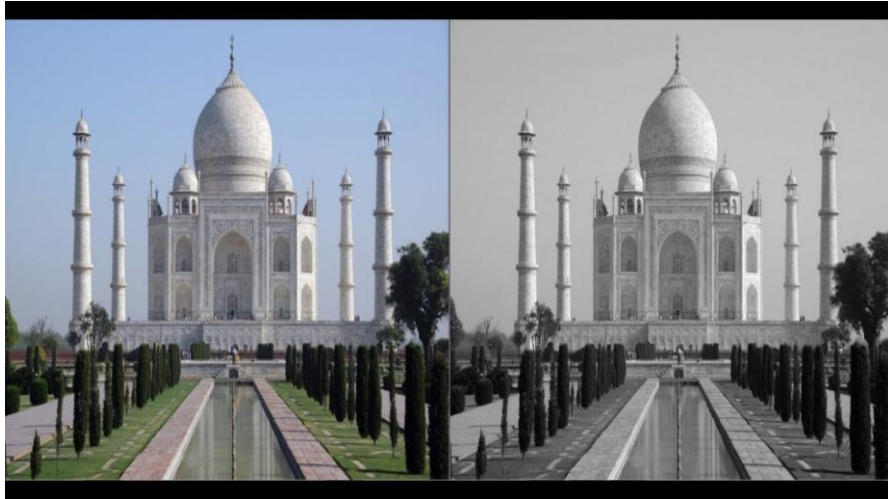


Gambar 2.3 Sebuah citra keabuan dengan nilai-nilai piksel di dalam sebuah region 6×6

2.2.3. Citra Warna

Representasi atas citra warna lebih kompleks dan bervariasi. Dua cara yang paling umum dalam menyimpan isi dari citra warna adalah representasi RGB, dimana di dalamnya tiap piksel umumnya direpresentasikan dengan sebuah nilai 24-bit yang memuat komponen merah (R), hijau (G), dan biru (B), dan representasi berindeks, dimana sebuah array 2D memuat indeks-indeks yang mengacu ke suatu peta warna (atau LUT, *lookup table*).

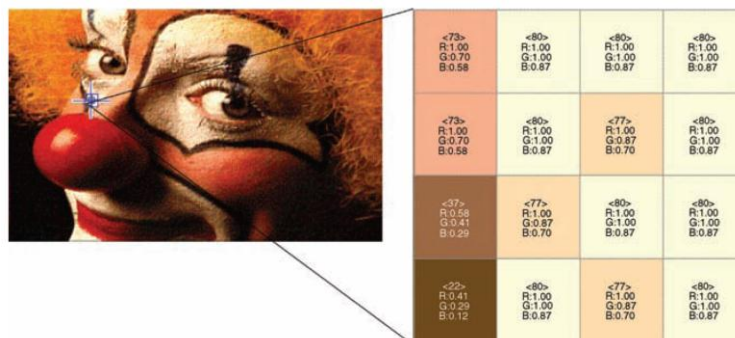
Citra Warna 24-Bit (RGB) : Citra warna dapat direpresentasikan menggunakan tiga buah array 2D yang berukuran sama, masing-masing untuk tiap kanal warna: merah (R), hijau (G), dan biru (B) (lihat Gambar 2.4). Setiap elemen array memuat nilai 8-bit, yang mengindikasikan intensitas dari intensitas merah, hijau, atau biru pada titik itu dengan skala $[0, 255]$. Kombinasi dari ketiga nilai itu menghasilkan sebuah nilai 24-bit, yang menghasilkan 2^{24} (16777216 atau 16 juta atau 16M) kombinasi warna. Representasi alternatif menggunakan 32 bit per piksel dan mencakup sebuah kanal keempat, yang dinamakan dengan kanal alfa, yang menyediakan ukuran transparansi untuk tiap piksel dan secara luas digunakan dalam efek pengeditan citra.



Gambar 2.4 (a) Citra warna; (b) Citra keabuan

Citra Warna Berindeks : Permasalahan pada representasi warna 24-bit adalah kompatibilitas mundur terhadap perangkat-keras yang lebih tua yang bisa jadi tidak dapat menampilkan 16 juta warna secara simultan. Salah satu solusinya, sebelum divais kartu video 24-bit digunakan secara luas, adalah representasi berindeks, dimana di dalamnya sebuah array 2D yang berukuran sama dengan citra memuat indeks-indeks (pointer-pointer) yang menunjuk ke sebuah peta warna yang umumnya memuat 256 warna. Peta warna tersebut hanyalah daftar warna yang dipakai pada citra tersebut.

Gambar 2.5 menunjukkan sebuah citra warna berindeks dan sebuah region 4×4 , dimana tiap piksel menunjukkan indeks dan nilai dari komponen R, G, dan B pada entri dari peta warna yang ditunjuk oleh indeks tersebut.



Gambar 2.5 Sebuah citra warna berindeks dengan indeks-indeks di dalam region (lingkuran) berukuran 4×4

2.3. FORMAT FILE CITRA

Hampir semua format file citra yang dipakai untuk merepresentasikan citra-citra bitmap memuat sebuah *file header* yang diikuti dengan data piksel (seringkali terkompresi). *File header* dari citra menyimpan informasi seputar citra tersebut, seperti tinggi dan lebar citra, banyak pita, banyak bit per piksel, dan sejumlah byte sidik-digital yang mengindikasikan tipe file. Pada format file yang lebih kompleks, *file header* juga memuat informasi tentang jenis kompresi yang digunakan dan parameter-parameter lain yang diperlukan untuk mendekode (mendekompresi) citra.

Format file paling sederhana adalah format BIN dan PPM. Format BIN hanya memuat data piksel mentah, tanpa *file header*. Jadi, pengguna dari file BIN harus mengetahui parameter-parameter citra yang relevan (seperti tinggi dan lebar citra) sebelum menggunakan citra tersebut. Format PPM dan varian-varianannya (PBM untuk citra biner, PGM untuk citra keabuan, PPM untuk citra warna, dan PNM untuk semuanya) secara luas digunakan dalam penelitian pemrosesan citra dan banyak perangkat-lunak grafiks untuk konversi ke format ini. Header untuk tiap format citra ini mencakup sidik-digital 2-bit yang mengidentifikasi tipe file, lebar dan tinggi citra, banyak pita, nilai intensitas maksimum (yang menentukan banyak bpp per pita).

Format BMP (*Microsoft Windows bitmap*) juga secara luas dipakai dan merupakan format yang cukup sederhana, yang memuat sebuah *file header* yang diikuti dengan data piksel mentah.

Format JPEG merupakan format file yang paling populer untuk representasi citra dengan kualitas fotografis. Format ini dapat memiliki derajat kompresi yang tinggi dengan rugi kualitas perseptual minimal.

Dua format file citra lain yang secara luas dipakai dalam pekerjaan-pekerjaan pemrosesan citra: GIF (*Graphics Interchange Format*) dan TIFF (*Tagged Image File Format*). GIF menggunakan sebuah representasi berindeks untuk citra-citra warna (dengan peta warna memuat maksimum 256 warna), algoritma kompresi LZW (*Lempel-Ziv-Welch*), dan header berukuran 13-byte. TIFF merupakan format yang lebih kompleks dengan sejumlah opsi dan kapabilitas, mencakup kemampuan untuk merepresentasikan citra warna 24 bpp dan mendukung lima skema kompresi yang berbeda.

Format PNG (*Portable Network Graphics*) merupakan format file yang semakin populer belakangan ini yang mendukung baik citra warna 24 bpp maupun citra warna berindeks.

2.4. Pemrosesan Citra Digital

Pemrosesan citra merupakan proses untuk menghasilkan citra sesuai dengan keinginan atau kualitasnya menjadi lebih baik. Inputannya adalah citra dan keluarannya juga citra tapi dengan kualitas lebih baik daripada citra masukan. Misal citra warnanya kurang tajam, kabur (*blurring*) dan mengandung *noise* (misal bintik-bintik putih) sehingga perlu ada pemrosesan untuk memperbaiki citra karena citra tersebut menjadi sulit diinterpretasikan karena informasi yang disampaikan menjadi berkurang. Adapun contoh dari implementasi pemrosesan citra digital seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Citra Lena yang agak kabur (a), Citra Lena yang diperbaiki (b)

Sumber : Gonzales, dkk (2003 : 36)

Umumnya, operasi-operasi pemrosesan citra diterapkan pada citra bila :

1. Perbaikan atau modifikasi citra untuk meningkatkan kualitas visual atau menonjolkan beberapa aspek informasi yang terkandung dalam citra.
2. Elemen di dalam citra perlu dikelompokkan dicocokkan atau diukur.
3. Sebagian citra perlu digabung dengan bagian citra yang lain.

Di dalam bidang komputer, ada tiga bidang studi yang berkaitan dengan citra, namun tujuan ketiganya berbeda, yaitu :

1. Grafika Komputer

Grafika komputer adalah proses untuk menciptakan suatu citra berdasarkan deskripsi maupun latar belakang yang terkandung dalam citra tersebut, seperti terlihat

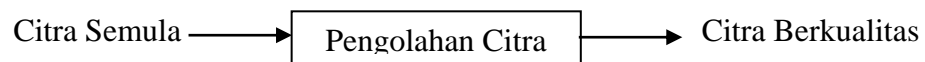
pada Gambar 2.7, di mana grafika komputer sangat berperan dalam visualisasi dan *virtual reality*.



Gambar 2.7 Grafika computer

2. Pemrosesan Citra

Pemrosesan Citra merupakan proses perbaikan atau modifikasi citra dilakukan untuk meningkatkan kualitas penampakan citra tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2.8. Contoh aplikasi dari pemrosesan citra antara lain perbaikan kontras gelap, perbaikan tepian objek, penajaman dan pemberian warna semu. *Steganography* dan *watermarking* juga termasuk dalam bagian studi citra ini.

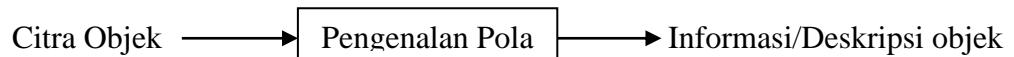


Gambar 2.8 Pengolahan Citra

Sumber : Baxes Gregory (1994 : 63)

3. Pengenalan Pola

Pengenalan Pola adalah proses mengelompokkan data numerik dan simbolik (termasuk citra) secara otomatis oleh komputer, seperti terlihat pada Gambar 2.9. Tujuan dari pengelompokkan adalah untuk mengenali suatu objek di dalam citra. Komputer akan menerima masukan berupa citra objek yang akan diidentifikasi kemudian memproses citra tersebut dan memberikan keluaran berupa informasi atau deskripsi objek di dalam citra.



Gambar 2.9 Pengenalan Pola

Sumber : Baxes Gregory (1994 : 67)

Operasi-operasi yang dilakukan di dalam pengolahan citra banyak ragamnya. Namun, secara umum, operasi pengolahan citra dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis sebagai berikut:

a. Perbaikan kualitas citra (*image enhancement*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara

memanipulasi parameter-parameter citra. Dengan operasi ini, ciri-ciri khusus yang terdapat di dalam citra lebih ditonjolkan. Contoh-contoh operasi perbaikan citra :

1. Perbaikan kontras gelap / terang
2. Perbaikan tepian objek (*edge enhancement*)
3. Penajaman (*sharpening*)
4. Pemberian warna semu (*pseudocoloring*)
5. Penapisan derau (*noise filtering*)

Gambar 2.10 di bawah ini adalah contoh operasi penajaman. Operasi ini menerima masukan sebuah citra yang gambarnya hendak dibuat tampak lebih tajam. Bagian citra yang ditajamkan adalah tepi-tepi objek.



Gambar 2.10 (a) Citra Lena asli, (b) Citra Lena setelah ditajamkan

Sumber : Gonzales, dkk (2003 : 53)

b. Pemugaran citra (*image restoration*).

Operasi ini bertujuan menghilangkan/meminimumkan cacat pada citra. Tujuan pemugaran citra hampir sama dengan operasi perbaikan citra. Bedanya, pada pemugaran citra penyebab degradasi gambar diketahui. Contoh-contoh operasi pemugaran citra:

1. Penghilangan kesamaran (*deblurring*).
2. Penghilangan derau (*noise*)

Gambar 2.11 di bawah ini adalah contoh operasi penghilangan kesamaran. Citra masukan adalah citra yang tampak kabur (*blur*). Kekaburan gambar mungkin disebabkan pengaturan fokus lensa yang tidak tepat atau kamera bergoyang pada pengambilan gambar. Melalui operasi *deblurring*, kualitas citra masukan dapat diperbaiki sehingga tampak lebih baik.



(a)

(b)

Gambar 2.11 Citra Lena yang kabur (*blur*) (a), citra Lena setelah *deblurring* (b)

Sumber : Gonzales, dkk (2003 : 74)

c. Pemampatan citra (*image compression*).

Jenis operasi ini dilakukan agar citra dapat direpresentasikan dalam bentuk yang lebih kompak sehingga memerlukan memori yang lebih sedikit. Hal penting yang harus diperhatikan dalam pemampatan adalah citra yang telah dimampatkan harus tetap mempunyai kualitas gambar yang bagus. Contoh metode pemampatan citra adalah metode JPG, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12. Gambar sebelah kiri adalah citra kapal yang berukuran 258 KB. Hasil pemampatan citra dengan metode JPG dapat mereduksi ukuran citra semula sehingga menjadi 49 KB saja.



(a)

(b)

Gambar 2.12 (a) Citra boat.bmp (258 KB) sebelum dimampatkan, (b) citra boat.JPG (49 KB) sesudah dimampatkan

Sumber : Gonzales, dkk (2003 : 84)

d. Segmentasi citra (*image segmentation*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk memecah suatu citra ke dalam beberapa segmen dengan suatu kriteria tertentu. Jenis operasi ini berkaitan erat dengan pengenalan pola.

e. Pengorakan citra (*image analysis*)

Jenis operasi ini bertujuan menghitung besaran kuantitatif dari citra untuk

menghasilkan deskripsinya. Teknik pengorakan citra mengekstraksi ciri-ciri tertentu yang membantu dalam identifikasi objek. Proses segmentasi kadangkala diperlukan untuk melokalisasi objek yang diinginkan dari sekelilingnya. Contoh-contoh operasi pengorakan citra:

1. Pendeteksian tepi objek (*edge detection*)
2. Ekstraksi batas (*boundary*)
3. Representasi daerah (*region*)

Gambar 2.13 di bawah ini adalah contoh operasi pendeteksian tepi pada citra *camera*. Operasi ini menghasilkan semua tepi (*edge*) di dalam citra.



Gambar 2.13 (a) Citra camera, (b) Citra hasil pendeteksian seluruh tepi

Sumber : Gonzales, dkk (2003 : 91)

f. Rekonstruksi citra (*image reconstruction*)

Jenis operasi ini bertujuan untuk membentuk ulang objek dari beberapa citra hasil proyeksi. Operasi rekonstruksi citra banyak digunakan dalam bidang medis. Misalnya beberapa foto *rontgen* dengan sinar *X* digunakan untuk membentuk ulang gambar organ tubuh.

2.5. Tapis Rerata

Pada tapis rerata nilai intensitas setiap piksel diganti dengan rata-rata dari nilai intensitas piksel tersebut dengan piksel-piksel tetangganya. Filter rata-rata merupakan filter h dalam bentuk matriks berukuran $m \times n$ (biasanya $m=n$) dan nilainya sama untuk setiap elemen. Ukuran $m \times n$ ini yang menentukan jumlah tetangga yang harus

dilibatkan dalam perhitungan. Karena bersifat LPF maka jumlah seluruh elemen adalah satu. Secara matematis filter rata-rata dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h(x, y) = \frac{1}{m, n}, 1 \leq x \leq m, 1 \leq y \leq \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$h(x,y)$ = filter h (filter rata-rata)

n = jumlah baris pada filter h (filter rata-rata)

m = jumlah kolom pada filter h (filter rata-rata)

x = koordinat letak citra pada titik x

y = koordinat letak citra pada titik y

Contoh filter rata-rata berukuran 3x3.

$$h(x, y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{bmatrix}$$

Operasi rata-rata dapat dipandang sebagai konvolusi yaitu perkalian fungsi diskrit antara citra $f(x,y)$ dan filter $g(x,y)$ (pada bagian ini filter $h(x,y)$ dimisalkan sebagai $g(x,y)$).
(2)

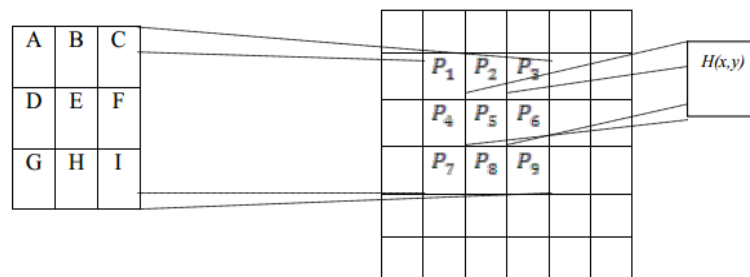
$$h(x,y) = f(x,y) * g(x,y)$$

Dalam hal ini, $h(x,y)$ disebut sebagai konvolusi dari $f(x,y)$ dengan respon $g(x,y)$. Apabila $g(x,y)$ adalah matriks berukuran 3x3 seperti pada pernyataan berikut, $f(x,y)$ adalah piksel yang dikenai operasi beserta tetangganya, maka $h(x,y)$ adalah hasil dari perhitungan dari persamaan berikut:

$$h(x,y) = AP_1 + BP_2 + CP_3 + DP_4 + EP_5 + FP_6 + GP_7 + HP_8 + IP_9 \dots\dots\dots(3)$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa titik pusat jendela konvolusi yang merupakan piksel yang akan dimodifikasi nilainya bersesuaian dengan titik E dan faktor pemberat A, B, C, D, E, ..., I pada matriks konvolusi adalah nilai dari $g[-k,-l]$, dengan

$k, l = -1, 0, +1$. Dalam manipulasi citra untuk menghasilkan citra yang baru, konvolusi berarti komputasi dari jumlah pembobotan terhadap piksel-piksel pada citra. Maka respon $g[x,y]$ dapat disebut juga cetakan konvolusi, karena hasil dari operasi konvolusi sangat tergantung pada $g[x,y]$. Setiap nilai piksel pada citra nilai $h[i,j]$ dihitung dengan memetakan cetakan konvolusi ke piksel $[i,j]$ dalam citra asal, kemudian ditambahkan kepada jumlah pembobotan piksel-piksel tetangganya dimana nilai pembobotan bersesuaian dengan cetakan konvolusi. Operasi ini diilustrasikan dalam Gambar 2.14 menggunakan cetakan konvolusi 3×3 . Untuk menjaga agar hasil perhitungan nilai intensitas yang baru tidak melebihi nilai maksimum yang dapat ditampung, maka faktor pembobot dari cetakan konvolusi (A, B, C, ..., I) merupakan bilangan-bilangan pecahan yang jumlahnya satu. Konvolusi bersifat invariant (lokasi piksel tidak mempengaruhi hasil operasi), karena filter pembobotan yang digunakan sama pada seluruh bagian citra.



Gambar 2.14 Gambar Contoh matriks 3×3 untuk konvolusi

Berikut merupakan gambaran proses reduksi *noise* dengan filter rata-rata secara konvolusi. Contoh: Citra keabuan $f(x,y)$ yang berukuran 10×8 memiliki 8 skala keabuan dari sebuah filter rata-rata $g(x,y)$ yang berukuran 3×3 sebagai berikut:

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

$f(x,y)$

Gambar 2.15 Matrik citra keabuan 10×8

$$h(x,y) = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Pilih $f(x,y)$ ukuran 3x3, dimulai dari pojok kiri atas. Kemudian, hitung konvolusinya dengan filter $h(x,y)$.

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

Gambar 2.16 Proses konvolusi

Hasil konvolusi $g(x,y)$ adalah:

$$\frac{1}{9} [(1 \times 5) + (1 \times 3) + (1 \times 4) + (1 \times 2) + (1 \times 1) + (1 \times 6) + (1 \times 3) + (1 \times 0)] = 3$$

2 diganti oleh 3, tempatkan pada matriks yang baru, hasilnya adalah:

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

Gambar 2.17 Hasil perhitungan konvolusi

Geser $f(x,y)$ ukuran 3x3 satu piksel ke kanan, kemudian hitung konvolusinya.

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

Gambar 2.18 Perhitungan konvolusi

Hasil konvolusinya adalah:

$$\frac{1}{9}[(1x3) + (1x3) + (1x0) + (1x2) + (1x1) + (1x3) + (1x3) + (1x0) + (1x)] = \frac{16}{9}$$

$$= 2$$

1 diganti dengan 2, kemudian tempatkan pada matriks yang baru.

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

Gambar 2.19 Hasil perhitungan konvolusi

Proses perhitungan kemudian dilakukan terus hingga $f(x,y)$ ukuran 3x3 sampai pada ujung kanan bawah hasilnya adalah:

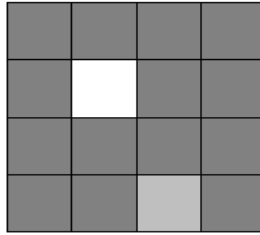
5	3	3	0	4	4	0	5	2	2
4	3	2	2	3	3	2	3	3	3
6	3	2	2	2	3	2	3	3	0
7	4	2	2	2	3	3	4	3	0
7	5	3	3	3	4	4	4	3	0
7	4	3	4	4	5	4	4	3	4
6	4	3	4	4	5	4	3	2	2
6	5	1	3	2	4	4	1	0	0

Gambar 2.20 Hasil perhitungan konvolusi secara keseluruhan

Berikut ini merupakan contoh lain dari penggunaan filter rata-rata. Perhatikan potongan gambar dalam bentuk matriks berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

Apabila digambarkan maka tampak sebagai berikut:



Gambar 2.21 Ilustrasi penggunaan tapis rerata

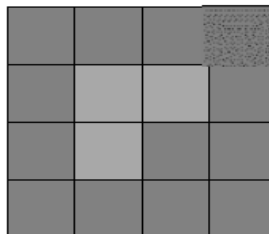
Dengan menggunakan filter rata-rata 3x3, maka proses filter dilakukan dengan cara menghitung konvolusi dari karnel filter rata-raata 3x3 H, maka diperoleh

$$Y = H \times F$$

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 4 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} \frac{7}{9} & 1 & 1 & \frac{4}{9} \\ 1 & \frac{12}{9} & \frac{12}{9} & \frac{6}{9} \\ 1 & \frac{14}{9} & \frac{12}{9} & \frac{8}{9} \\ \frac{4}{9} & \frac{8}{9} & \frac{8}{9} & \frac{6}{9} \end{bmatrix}$$

Bila digambarkan maka hasil filter rata-rata sebagai berikut:



Gambar 2.22 Ilustrasi hasil tapis rerata

Hasilnya terdapat titik-titik yang berbeda (dianggap sebagai *noise*) akan dikurangi sehingga mendekati nilai dominan. Salah satu efek dari hasil filter ini adalah efek *blur*.

Untuk mengukur kinerja dari filter ini digunakan nilai pengaruh *noise* terhadap suatu sinyal (dalam hal ini citra adalah sinyal 2 dimensi) yang dinyatakan sebagai nilai SNR (*Signal to Noise Rasio*) (Basuki *et al*, 2005).

Adapun rumus dari SNR adalah:

$$SNR = 10 \cdot^{10} \log \left(\frac{I}{N} \right) \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

I adalah jumlah nilai citra.

N adalah jumlah nilai *noise* (citra yang terkena *noise In* dikurangi dengan citra I).

Untuk menghitung SNR pada contoh di atas adalah sebagai berikut.

$$I = \sum_x \sum_y F^1(x, y) = 16$$

Dengan dianggap bahwa semua nilai F adalah 1 (seragam) sedangkan yang lainnya dianggap *noise*.

$$N = |Y(x, y) - F(x, y)|$$

$$N = \sum_x \sum_y \left| \begin{bmatrix} \frac{7}{9} & 1 & 1 & \frac{4}{9} \\ 1 & \frac{12}{9} & \frac{12}{9} & \frac{6}{9} \\ 1 & \frac{14}{9} & \frac{12}{9} & \frac{8}{9} \\ \frac{4}{9} & \frac{8}{9} & \frac{8}{9} & \frac{6}{9} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \right|$$

$$N = \sum_x \sum_y \begin{bmatrix} \frac{2}{9} & 0 & 0 & \frac{5}{9} \\ 0 & \frac{3}{9} & \frac{3}{9} & \frac{3}{9} \\ 0 & \frac{5}{9} & \frac{3}{9} & \frac{1}{9} \\ \frac{5}{9} & \frac{1}{9} & \frac{1}{9} & \frac{3}{9} \end{bmatrix} = \frac{35}{9} = 3.89$$

$$SNR = 10 \cdot^{10} \log \left(\frac{16}{3.89} \right) = 6.14$$

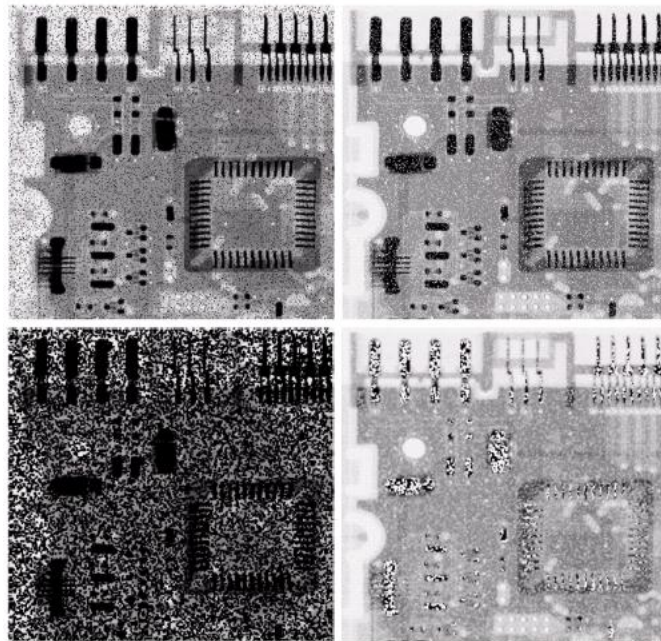
Dibandingkan dengan gambar sebelum filter SNR sebelum filter dapat dihitung dengan:

$$N=5 \text{ maka } SNR = 10 \cdot \log \left(\frac{16}{5} \right) = 5.05$$

Ada peningkatan SNR setelah dilakukan *filtering* menggunakan filter rata-rata, hal ini menunjukkan bahwa *noise* berkurang.

2.5.1. Tapis Rerata Kontra-Harmonis

Tapis Rerata Kontra-Harmonis adalah anggota dari bagian tapis non-linear yang lebih baik dalam menekan derau *salt and papper*. Sifat tapis ini sama seperti tapis rerata geometris. Dapat dilihat pada gambar 2.23. Di bawah ini merupakan citra terdegradasi dengan *Salt and Pepper noise* dan hasil penapisan menggunakan tapis rerata kontra-harmonis.



Gambar 2.23 Restorasi citra tapis rerata kontra-harmonis pada derau *salt dan papper*

Secara matematis tapis rerata kontra-harmonis dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$f(x, y) = \frac{\sum_{(s,t) \in S(x,y)} g(s, t)^{Q+1}}{\sum_{(s,t) \in S(x,y)} g(s, t)^Q} \dots\dots\dots (5)$$

Atau dalam persamaan lainnya juga dapat dinyatakan sebagai berikut

$$C(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\frac{(x_1^2 + x_3^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2)}{n}}{\frac{x_1 + x_3 + x_3 + \dots + x_n}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

2.6. Kriteria Evaluasi

Kualitas citra merupakan karakteristik dari sebuah citra yang berupa ukuran degradasi citra. Kualitas citra diukur dengan MSE (*mean squared error*), PSNR (*peak signal to noise ration*), dan SSIM (*structural similarity index*).

MSE

Parameter ini menyatakan signifikansi penekanan derau, yang didefinisikan sebagai:

$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A(i, j) - B(i, j))^2 \dots\dots\dots (7)$$

Semakin kecil nilai MSE maka kualitas citra yang diperoleh semakin bagus, dan begitu sebaliknya apabila nilai MSE semakin besar maka hasil yang diperoleh semakin tidak bagus.

PSNR

PSNR merupakan rasio dari puncak sinyal terhadap derau dalam dB (decibel), yang didefinisikan sebagai:

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{Peak^2}{MSE} \right) \dots\dots\dots (8)$$

Semakin besar nilai PSNR maka kualitas citra dan penekanan derau akan semakin baik.

MAE

MAE merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui besar error dari dua buah citra. Semakin kecil nilai MAE maka hasil yang diperoleh semakin bagus, dan begitu sebaliknya apabila nilai MAE semakin besar maka hasil yang diperoleh semakin tidak bagus.

..... (9)

$$\text{MAE}(A, B) = |MSE = \left| \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (A(i, j) - B(i, j))^2 \right|$$