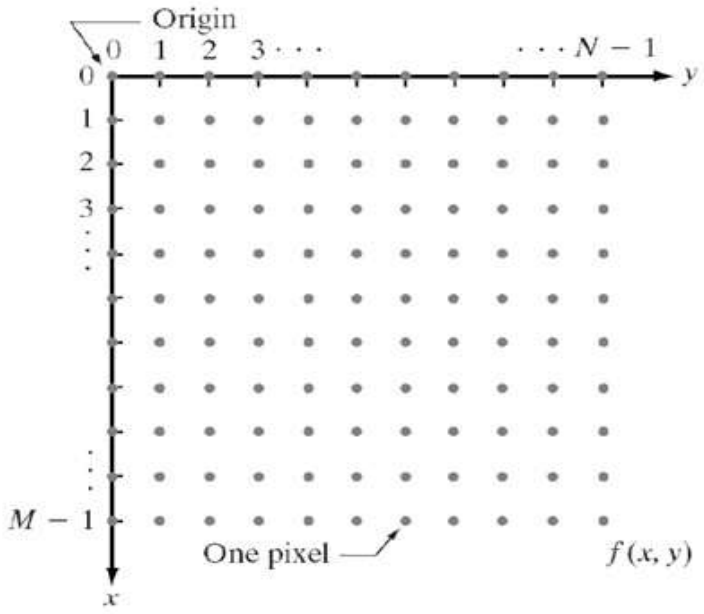
BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Citra Digital

Citra adalah gambar pada bidang dua dimensi, maka sebuah citra merupakan dimensi spasial atau bidang yang berisi informasi warna yang tidak bergantung waktu, Citra digital merupakan suatu gambar yang tersusun dari piksel, dimana tiap piksel merepresentasikan warna (tingkat keabuan untuk gambar hitam putih) pada suatu titik di gambar [4]. Secara umum, pengolahan citra digital menunjukkan pemrosesan gambar 2 dimensi menggunakan komputer. Citra digital merupakan sebuah larik (*array*) yang berisi nilai-nilai real maupun komplek yang direpsentasikan dengan deretan bit tertentu.



Gambar 2 . 1 Kordinator Citra Digital

Sebuah citra dapat didefinisikan sebagai fungsi *f(x,y)* berukuran M baris dan N kolom, dengan x dan y adalah koordinat spasial, dan amplitudo *f* di titik koordinat (*x*,*y*) dinamakan intensitas atau tingkat keabuan dari citra pada titik tersebut. Apabila nilai x,y, dan nilai amplitudo f secara keseluruhan berhingga (*finite*) dan bernilai diskrit maka dapat dikatakan bahwa citra tersebut adalah citra digital [5].

2.1.1 Elemen Citra Digital

Citra digital mengandung sejumlah elemen-elemen dasar. Elemen-elemen dasar tersebut dimanipulasi dalam pengolahan citra dan dieksploitasi lebih lanjut dalam *computer vision*. Elemen dasar yang penting sebagai berikut :

1. Kecerahan (*brightness*)

   Kecerahan adalah kata lain untuk intensitas cahaya. Kecerahan pada sebuah titik (piksel) di dalam citra bukanlah intensitas yang riil, tetapi sebenarnya adalah intensitas rata-rata dari suatu area yang melingkupinya. Sistem visual manusia mampu menyesuaikan dirinya dengan tingkat kecerahan (*brightness level*) mulai dari yang paling rendah sampai yang paling tinggi dengan jangkauan sebesar 10^{10}.
2. Kontras (*contrast*)

   Kontras menyatakan sebaran terang (*lightness*) dan gelap (*darkness*) di dalam sebuah gambar. Citra dengan kontras rendah dicirikan oleh sebagian besar komposisi citranya adalah terang atau sebagian besar gelap. Pada citra dengan kontras yang baik, komposisi gelap dan terang tersebar secara merata.
3. Kontur (*contour*)

   Kontur adalah keaadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada piksel-piksel yang bertetangga. Karena adanya perubahan intesitas inilah mata kita mampu mendeteksi tepi-tepi (*edge*) objek di dalam citra.

4. Warna (*color*)

   Warna adalah persepsi yang dirasakan oleh sistem visual manusia terhadap panjang gelombang cahaya yang dipantulkan oleh objek. Setiap warna mempunyai panjang gelombang (λ) yang berbeda. Warna merah mempunyai panjang gelombang paling tinggi, sedangkan warna ungu mempunyai panjang gelombang paling rendah. Warna-warna yang diterima oleh mata (sistem visual manusia) merupakan hasil kombinasi cahaya dengan panjang gelombang berbeda. Penelitian memperlihatkan bahwa kombinasi warna yang memberikan rentang warna yang paling lebar adalah *red* (R), *green* (G), dan *blue* (B).

5. Bentuk (*shape*)

   Shape adalah properti intrinsik dari objek tiga dimensi, dengan pengertian bahwa shape merupakan properti intrinsik utama untuk sistem visual manusia. Manusia lebih sering mengasosiasikan objek dengan bentuknya dariapa elemen lainnya. Pada umumnya, citra yang dibentuk oleh mata merupaka citra dwimatra (2 dimensi), sedangkan objek yang dilihat umumnya berbentuk trimatra (3 dimensi).

6. Tekstur (*texture*)

   Tekstur dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan piksel-piksel yang bertetangga. Tekstur tidak dapat didefinisikan untuk sebuah piksel. Sistem visual manusia pada hakikatnya tidak menerima informasi citra secara independen pada setiap piksel, melainkan suatu citra dianggap sebagai suatu kesatuan.

2.1.2 Jenis Citra Digital

Nilai suatu piksel memiliki nilai dalam rentang tertentu, dari nilai minimum sampai nilai maksimum. Jangkauan yang digunakan berbeda-beda tergantung dari jenis warnanya. Namun secara umum jangkauannya adalah 0 – 255. Citra dengan penggambaran seperti ini digolongkan ke dalam citra integer.

1. Citra Biner

   Citra biner adalah citra yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai piksel yaitu hitam dan putih. Pada Gambar 2.2 citra biner juga disebut sebagai citra B&W (black and white) atau citra monokrom. Hanya dibutuhkan 1 bit untuk mewakili nilai setiap piksel dari citra biner. Citra biner sering kali muncul sebagai hasil dari proses pengolahan seperti segmentasi, pengambangan, morfologi, ataupun dithering.



Gambar 2 . 2 Citra Biner

2. Citra *Grayscale*

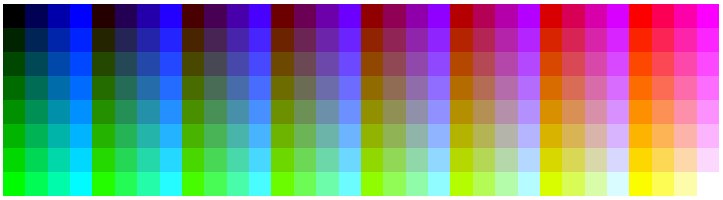
   Citra *grayscale* yang ditunjukan pada Gambar 2.3 merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pikselnya, sengan kata lain nilai bagian *RED* = *GREEN* = *BLUE*. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah warna dari hitam, keabuan, dan putih. Tingkatan keabuan di sini merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga mendekati putih.



Gambar 2 . 3 Citra Greyscale

3. Citra warna (8 bit)

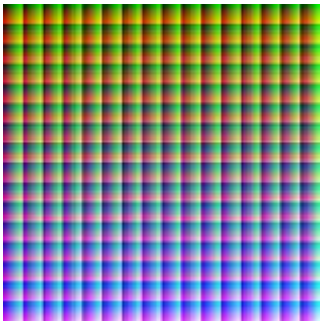
   Setiap piksel dari citra warna (8 bit) hanya diwakili oleh 8 bit dengan jumlah warna maksimum yang dapat digunakan adalah 256 warna. Ada jenis citra warna 8 bit. Citra warna 8 bit dengan menggunakan palet warna 256 dengan setiap paletnya memiliki pemetaan nilai (colormap) RGB tertentu. Model ini lebih sering digunakan. Bentuk kedua dinamakan 8 bit truecolor. Berikut Gambar 2.4 adalah warna-warnanya.



Gambar 2 . 4 True Color 8 Bit

4. Citra warna (16 bit)

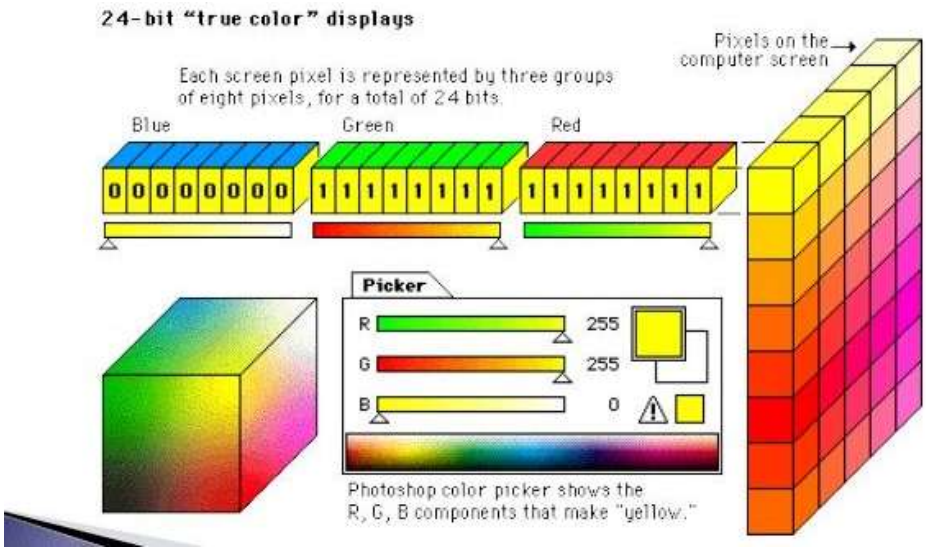
   Citra warna 16 bit (biasanya disebut sebagai citra highcolor) dengan setiap pikselnya diwakili dengan 2 byte memory 916 bit). Warna 16 bit memiliki 65.536 warna. Dalam formasi bitnya, nilai merah dan biru mengambil tempat di 5 bit di kanan dan kiri. Komponen hijau memiliki 5 bit ditambah 1 bit ekstra. Pemilihan komponen hijau dengan deret 6 bit dikarenakan penglihatan manusia lebih sensitif terhadap warna hijau. Berikut Gambar 2.5 adalah deret warna yang dihasilkan dari warna 16 bit.



Gambar 2 . 5 True Color 16 Bit

5. Citra warna (24 bit)

   Setiap piksel dari citra warna 24 bit diwakili dengan 24 bit sehingga total 16.777.216 variasi warna. Variasi ini sudah lebih dari cukup untuk memvisualisasikan seluruh warna yang dapat dilihat penglihatan manusia. Penglihatan manusia dipercaya hanya dapat membedakan hingga 10 juta warna saja. Setiap poin informasi piksel (RGB) disimpan ke dalam 1 byte data. 8 bit pertama menyimpan nilai biru, kemudian diikuti dengan nilai hijau pada bit kedua dan pada 8 bit terakhir merupakan warna merah. Berikut gambaran dari penjelasan ditujukan pada Gambar 2.6.



Gambar 2 . 6 True Color 24 Bit

2.1.3 Format File Citra Digital

Format file citra standar yang digunakan saat ini terdiri dari beberapa jenis. Format-format ini digunakan dalam menyimpan citra dalam sebuah file. Setiap format memiliki karakteristik masing-masing.

1. Bitmap (.bmp)

   Format .bmp adalah format penyimpanan standar tanpa kompresi yang umum dapat digunakan untuk menyimpan citra biner hingga citra warna. Format ini terdiri dari beberapa jenis yang setiap jenisnya ditentukan dengan jumlah nilai bit yang digunakan untuk menyimpan sebuah nilai piksel. Saat ini format BMP kurang diminati karena ukuran berkasnya relatif lebih besar daripada berkas JPG. Namun format ini memiliki kelebihan yaitu kualitas yang bagus karena citranya tidak dimampatkan sehingga tidak ada informasi yang hilang.

2. Tagged Image Format (.tif, .tiff)

   Format .tif merupakan format penyimpanan citra yang dapat digunakan untuk menyimpan citra bitmap hingga citra dengan warna palet terkompresi. Format ini dapat digunakan untuk menyimpan citra yang tidak terkompresi dan juga citra terkompresi.

3. Portable Network Graphics (.png)

   Format ,png adalah format penyimpanan citra terkompresi. Format ini dapat digunakan pada citra *grayscale*, citra dengan palet warna, dan juga citra fullcolor. Format .png juga mampu menyimpan informasi hingga kanal alpha dengan penyimpanan sebesar 1 hingga 16 bit per kanal.

4. JPEG (.jpg)

   Format .jpg adalah format yang sanat umum digunakan saat ini khususnya untuk transmisi citra. Format ini digunakan untuk menyimpan citra hasil kompresi dengan metode JPEG.

5. MPEG (.mpg)

   Format ini digunakan di dunia internet dan diperuntukkan sebagai format penyimpanan citra bergerak (video). Format ini mendukung video dengan kompresi ber-rugi.

6. Graphics Interchange Format (.gif)

   Format ini dapat digunakan pada citra warna dengan palet 8 bit. Penggunaan umumnya pada aplikasi web. Kualitas yang rendah menyebabkan format ini tidak terlalu populer di kalangan peneliti pengolahan citra digital.

7. Portable Image File Format

   Format ini memiliki beberapa bagian diantaranya adalah *portable bitmap*, *portable graymap*, *portable pixmap*, dan *portable network* map dengan format berturut-turut adalah .pbm, .pgm, .ppm dan .pnm. format ini baik digunakan untuk menyimpan dan membaca kembali data citra.

2.2 Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah pemrosesan citra, khususnya dengan menggunakan komputer, menjadi citra yang kualitasnya lebih baik. Pengolahan citra bertujuan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasikan oleh manusia atau mesin. Teknik-teknik pengolahan citra mentransformasikan citra menjadi citra lain. Masukannya adalah citra dan keluarannya juga citra, namun citra keluaran mempunya kualitas lebih baik daripada citra masukan.

1. Operasi Pengolahan Citra

   Operasi-operasi yang dilakukan di dalam pengolahan citra banyak ragamnya. Secara umum operasi pengolahan citra dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis.

2. 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 adalah perbaikan kontras gelap/terang, perbaikan tepian objek (*edge enhancement*), penajaman (*sharpening*), pemberian warna semu (*pseudocoloring*), dan penapisan derau (*noise filtering*).

3. Pemugaran Citra (Image Restoration)

   Oprasi ini bertujuan menghilangkan atau meminimumkan cacat pada citra. Tujuan pemugaran citra hampir sama dengan operasi perbaikan citra. Bedanya, pada pemugaran citra penyebab distorsi gambar diketahui. Contoh-contoh operasi pemugaran citra yaitu penghilangan kesamaran (*deblurring*) dan penghilangan derau (*noise*).

4. Pemampatan Citra (*Image Compression*)

   Jenis operasi ini dilakukan agar citra dapat direpresentasikan dalam betuk yang lebih kompak sehingga memerlukan memori yang lebih sedikit. Hal penting yang harus diperhatikan adalah citra yang telah dimampatkan harus tetap mempunyai kualitas gambar yang bagus.

5. Segmentasi Citra (I*mage Segmentation*)

   Jenis operasi ini bertujuan untuk memecah suatu citra ke dalam beberap segmen dengan suatu kriteria tertentu.

6. Pengorakan Citra (*Image Analysis*)

   Jenis operasi ini bertujuan menghitung besaran kuantitif dari citra untuk menghasilkan deskripsinta. Teknik pengorakan citra mengekstraksi ciri-ciri tertentu yang membantu dalam identifikasi objek. Contoh-contoh operasi pengorakan citra adalah pendeteksian tepi objek (*edge detection*), ekstraksi batas (*boundary*) dan representasi daerah (*region*).

7. 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.

2.3 Penerapan Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital dimulai sekitar awal tahun 1960-an, saat itu diluncurkan komputer yang mampu melakukan pengolahan citra. Komputer tersebut adalah pemicu cepatnya perkembangan teknologi pengolahan citra digital.

Pada tahun 1964 terjadi proses pengolahan citra berupa perbaikan kualitas citra bulan dari distorsi di laboratorium Jet Propulsion. Citra bulan kemudian dikirim oleh pesawat ulang alik *Ranger 7* [6]. Pengolahan citra digital memiliki spektrum aplikasi yang sangat luas.

1. Bidang Biomedis (*Biomedical*)

   Pengolahan citra digital mengalami kemajuan penting dalam bidang kedokteran ketika ditemukannya tomografi terkomputerisasi pada tahun 1970-an dan kini teknologi tomografi tersebut sudah maju sangat pesat. Pengolahan citra digital dapat digunakan untuk deteksi tumor atau kanker rahim, identifikasi penyakit paru-paru, identifikasi penyakit hati, identifikasi penyakit tulang, segmentasi tulang dari otot yang lainnya, klasifikasi gigi, dan analisis citra mikroskopis. Kemajuan pada bidang kedokteran tersebut karena kemampuan pengolahan citra digital yang mampu menginterpretasikan sinar x (*x ray*). Aplikasi volumetrik 3D *Magnetic resonance Imaging* (MRI) yang mampu mendapatkan pencitraan organ dalam tubuh manusia secara jelas dengan menggunakan *scanner* MRI.
2. Bidang Penginderaan Jarak Jauh (*Remote Sensing)*

   Informasi penting dari sumber-sumber alam seperti pertanian, perairan, kelautan, mineral, hutan, dan geologi dapat diperoleh dengan melakukan analisis citra terhadap citra satelitnya. Pencemaran air laut, kerusakan wilayah, dan pencemaran atau polusi udara dapat dilakukan dengan menganalisis citra satelitnya. Aplikasi yang lain adalah identifikasi kapal laut melalui citra satelit. Aplikasi ini digunakan untuk mengetahui kapal laut yang melewati perbatasan wilayah laut suatu negara.
3. Bidang Biometrika

   Teknologi pengamanan suatu sistem mengalami kemajuan pesat akibat pesatnya perkembangan pengolahan citra pada bidang biometrika. Sebagai contoh pemanfaatan sidik jari, iris, wajah, dan biometrika yang lainnya untuk sistem identifikasi seseorang.

4. Bidang Fotografi

   Kemajuan di bidang fotografi memberi dampak pada bidang-bidang astronomi, *photogrammetry*, dan fisika partikel. Para astronom dapat melakukan pengukuran terhadap posisi dan jarak suatu bintang dari foto udara. Para fisikawan menggunakan citra dari gelembung hidrogen untuk melakukan penelitian dan telah mengantarkan kepada penemuan berbagai partikel dasar.

5. Bidang Desain Visual

   Dunia arsitektur dapat membuat desain visual suatu bangunan sebelum melakukan pembangunan yang sesungguhnya. Desain visual akan sangat mempermudah para arsitek dalam memberikan penjelasan rinci terhadap suatu rancangannya.

6. Meneliti Proses Dinamis

   Penelitian proses dinamis dapat dibantu dengan menggunakan rangkaian citra yang berurutan sesuai dengan perubahan yang terjadi. Aplikasi ini banyak dijumpai di berbagai ilmu pengetahuan seperti dalam ilmu botani. Ilmu botani mempelajari tentang pertumbuhan tanaman dan mekanisme untuk mengontrol pertumbuhan tersebut. Contoh lainnya datang dari sisiplin ilmu oseanografi. Untuk meneliti proses mikro yang terjadi di permukaan laut dan daerah sekitarnya. Terkadang akan sangat sulit untuk melakukan erhitungan karena adanya gerakan gelombang. Untuk itu diperlukan adanya citra urutan yang dapat menggambarkan setiap perubahan yang terjadi. Para ahlii akan dapat melakukan pengukuran berdasarka perbedaan citra-citra terurut tersebut.

7. OCR

   Salah satu aplikasi yang penting dalam dunia pengolahan citra adalah pengenalan objek (*object recognition*). Aplikasi yang paling banyak dijumpai adalah OCR (*Optical Character Recognition*). Aplikasi OCR sering digunakan untuk mengidentifikasi citra huruf untuk kemudian diubah ke dalam bentuk file tulisan. Aplikasi OCR juga digunakan dunia industri seperti industri elektronik untuk mengenali label-label yang ada pada *circuit board*.

8. Bidang Pemampatan Citra dan Video

   Teknologi pemampatan citra dan video (*image and video compression*) berkembang sangat pesat. Teknologi ini mampu memampatkan citra dan video dengan rasio yang tinggi. Dampak kemajuan teknologi ini sangat bermanfaat pada era internet ini di mana bandwidth menjadi sesuatu yang mahal.

9. *Image Retrieval* atau *Image Querying*

   Image retrieval atau *image querying* adalah aplikasi pengolahan citra yang dapat membantu pengguna mengambil atau mencari dengan cepat suatu citra pada database citra berdasarkan query atau permintaan pengguna. Database pada umumnya memiliki ukuran dalam skala besar. Contoh aplikasi *image query* adalah pengguna memasukkan citra wajah kemudian sistem akan mencari dan menampilkan citra-citra yang mirip dengan *query*.

2.4 Saturasi

Menyatakan tingkat kemurnian warna cahaya, yaitu mengindikasikan seberapa banyak warna putih diberikan pada warna. Sebagai contoh, warna merah adalah 100 % warna jenuh (*satured color*), sedangkan warna *pink* adalah warna merah denga tingkat kejenuhan sangat rendah (karena ada warna putih di dalamnya).

Biasanya dalam saturasi memiliki hubungan erat dengan *Hue* dan *Lightness*, berikut penjelasan dari hubungan ketiganya [7] :

1. *Hue*

   Hue adalah apa yang biasanya kita sebut sebagai ‘warna’ dalam bahasa sehari-hari. Untuk pelukis, istilah ‘*hue’* berarti kombinasi dari warna-warna dasar dengan kata lain, merah, hijau, biru atau kuning (RGB). Sementara fotografer biasanya membayangkan hue sebagai satu warna tertentu.

2. *Saturation*

   Saturation menunjukkan intensitas dari hue. Warna-warna dasar yang terang adalah warna dengan saturation tinggi, sementara warna-warna pastel saturation-nya rendah. Monochrome (hitam dan putih) seluruhnya tidak memiliki saturation karena tidak punya intensitas warna di dalamnya.

3. *Lightness*

   Lightness (yang kadang-kadang disebut juga sebagai ‘value’ atau ‘tone’) berhubungan dengan tajam atau tidaknya sebuah warna – atau tingkat hitam atau putih pada skala warna. Sebuah warna dengan value yang rendah berarti lebih dekat dengan hitam, sementara yang memiliki value tinggi lebih dekat dengan putih.

2.5 Konversi RGB ke *Grayscale*

Merubah citra RGB menjadi citra grayscale adalah salah satu contoh proses pengolahan citra menggunakan operasi titik. Untuk mengubah citra RGB menjadi citra grayscale adalah dengan menghitung rata-rata nilai intensitas RGB dari setiap piksel penyusun citra tersebut. Rumus matematis yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$f_0(x,y) = f_0^{Red}(x,y) * 0.3 + f_0^{Green}(x,y) * 0.59 + f_0^{Blue}(x,y) * 0.11 \quad (1)$$

Persamaan 1 Rumus Konversi RGB ke Grayscale

Dengan menggunakan rumus tersebut 3 bagian dari sebuah piksel dalam suatu citra menjadi 1 kesatuan nilai, dimana akan ditunjuka pada Gambar 2.7 merupakan gambar asli :



Gambar 2 . 7 Citra RGB Asli

Setelah diproses menggunakan rumus maka dihasilkan Gambar 2.8 :



Gambar 2 . 8 Citra Hasil Grayscale

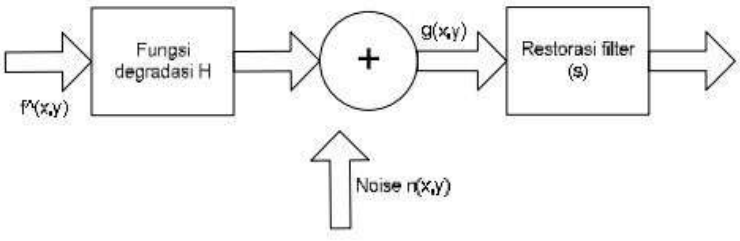
2.6 Restorasi Citra (*Image Restoration*)

Restorasi citra (*Image Restoration*) yaitu mencari terlebih dahulu penyebab kerusakan citra setelah itu baru mengaplikasikan teknik – teknik yang ada untuk memperbaikinya. Teknik restorasi berorientasi pada pemodelan distorsi dan melakukan proses kebalikan dari distorsi dalam merecover Citra aslinya. Beberapa contoh kerusakan yang bisa di restorasi seperti blur/ kabur, bintik-bintik, dual image, over saturated color, dan piksel error [2].

Tujuan terakhir dari teknik pemulihan gambar ini untuk memperbaiki gambar itu sendiri sesuai dengan beberapa pendefinisian rasa (sense). Teknik restorasi ini berorientasi pada memodelkan pendistorsian dan penggunaan proses kebalikan (inverse) dengan tujuan untuk memperoleh gambar aslinya.

Pendekatan ini umumnya berkaitan dengan memformulakan kriteria kebaikan yang akan menghasilkan perkiraan optimal dari hasil yang diinginkan. Perbedaannya, teknik mempertinggi sebenarnya adalah prosedur heuristic yang di desain untuk memanipulasi sebuah gambar dengan tujuan untuk mendapatkan keuntungan dari aspek psychophysical dari system penglihatan manusia.

Restorasi juga menjelaskan tentang memperbaiki kualitas sebuah citra dengan proses matematis dan probabilitas. Berbeda dengan image enhancement yang bersifat subjektif, karena proses perbaikan citranya berdasar pada perasaan manusia. Pada Gambar 2.9 merupakan rumus matematis proses restorasi :



Gambar 2 . 9 Ilustrasi Proses Restorasi

Keterangan : $g_{(x,y)} = h_{(x,y)} + n_{(x,y)}$

$g_{(x,y)}$ = citra yang mengalami distorsi

$f_{(x,y)}$ = citra asli

$n_{(x,y)}$ = additive noise

$h_{(x,y)}$ = fungsi distorsi

Dalam restorasi citra terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan diantaranya adalah :

1. Algoritma Penapis Wiener.
2. Algoritma Lucy-Richardson.

2.6.1 Algoritma Penapis Wiener

Penapis Wiener adalah metode restorasi yang berdasarkan pada *least square*. Penapis ini meminimumkan galat restorasi, yaitu selisih antar citra restorasi dengan citra asli. Penapis ini efektif bila karakteristik frekuensi citra dan derau aditif diketahui [8]. Jika tidak ada derau aditif, penapis Wiener menjadi penapis yang ideal. Dalam domain transform, penapis Wiener berbentuk

$$Hw_{(u,v)} = \frac{H*_{(u,v)}}{|H_{(u,v)}|^2 + Sn_{(u,v)} \,/\, Sf_{(u,v)}} \qquad (2)$$

Persamaan 2 Penapis Wiener Derau Aditif Diketahui

Keterangan : (u,v) = titik koordinat piksel

$Hw_{(u,v)}$ = nilai *filter* wiener

$H*_{(u,v)}$ = konyugasi dari operator $|H_{(u,v)}|^2$ + citra asli

$H_{(u,v)}$ = citra distorsi – citra asli

$Sn_{(u,v)} / Sf_{(u,v)}$ = kebalikan dari rasio signal-to-noise

Jika Sn $_{(u,v)}$ dan Sf $_{(u,v)}$ tidak diketahui atau tidak dapat diestimasi, maka penapis Wiener dihampiri dengan persamaan berikut :

$$Hw_{(u,v)} = \frac{H*_{(u,v)}}{|H_{(u,v)}|^2+K} \quad (3)$$

Persamaan 3 Turunan Penapis Wiener Jika Sn $_{(u,v)}$ dan Sf $_{(u,v)}$ tidak diketahui

Keterangan : (u,v) = titik koordinat piksel

Hw $_{(u,v)}$ = nilai *filter* wiener

H* $_{(u,v)}$ = konyugasi dari operator $|H_{(u,v)}|^2$ + citra asli

H $_{(u,v)}$ = citra distorsi – citra asli

K = konstanta yang disesuaikan oleh user

Dengan menggunakan penapis Wiener, maka citra restorasi diperoleh dengan mengalikan penapis tersebut dengan citra masukan :

$$F\hat{}_{(u,v)} = Hw_{(u,v)} * G_{(u,v)} \quad (4)$$

Persamaan 4 Restorasi Penapis Wiener

Keterangan : (u,v) = titik koordinat piksel

F^ $_{(u,v)}$ = hasil restorasi citra

Hw $_{(u,v)}$ = nilai filter wiener

G $_{(u,v)}$ = nilai citra yang terdistorsi

2.6.2 Algoritma Lucy-Richardson

Algorima Lucy-Richardson (L-R), yang dikenal juga dengan dekonvolusi Lucy-Richardson, dikembangkan secara independen oleh Richardson (1972) dan Lucy (1974). Algoritma ini efektif jika kita mengetahui PSF tetapi hanya mengetahui sedikit mengenai derau aditif pada citra. Algoritma ini pada mulanya digunakan untuk merestorasi citra astonomi, sebelum akhirnya digunakan juga secara luas untuk merestorasi sembarang citra yang mengalami kekaburan. Algoritma ini memaksimumkan kemungkinan (*maximum likelihood*) bahwa sebuah citra bila dikonvolusi dengan PSF hasilnya adalah instansiasi dari citra kabur, dengan mengasumsikan derau tersebutt dengan distribusi Poison [9].

Esensi dari iterasi adalah sebagai berikut estimasi ke-(n +1) dari citra restorasi adalah estimasi ke-n citra restorasi dikali dengan citra koreksi. Persamaan iterasinya adalah:

$$f\hat{}_{(n+1)} = f\hat{}_n \left(\frac{g}{f\hat{}_n * PSF}\right) * reflect(PSF) \qquad (5)$$

Persamaan 5 Algoritma Lucy-Richardson

Keterangan : $f\hat{}$ => $f\hat{}_{(x,y)}$ = estimasi citra restorasi

g => $g_{(x,y)}$ = nilai citra yang terdistorsi

*reflect(PSF) = kebalikan nilai $PSF_{(x,y)}$ = $PSF_{(x,y)}$

$f\hat{}_n$ => $f\hat{}_0$ = $f\hat{}_{(x,y)}$ = nilai iterasi awal

f_0 = nilai awal iterasi = g * PSF

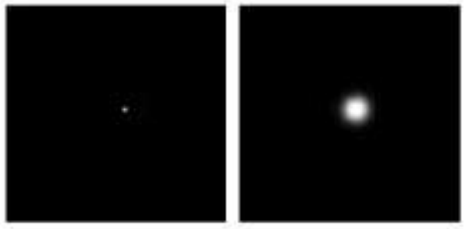
$f\hat{}_n \left(\frac{g}{f\hat{}_n * PSF}\right) * reflect(PSF)$ = nilai citra koreksi

Kekonvergenan algoritma Lucy-Richardson berarti citra koreksi mendekati satu (*unity*) ketika iterasi bertambah. Jika algoritma konvergen (yang telah dibuktikan oleh Shepp dan Vardi) maka iterasinya itu konvergen ke maksimum kemungkinan statistik Poisson di dalam data.

Pertanyaan yang sering muncul terhadap algoritma ini adalah kapan menghentikan iterasi, atau berapa banyak iterasi untuk memperoleh citra restorasi yang bagus. Ini adalah pertanyaan yang sulit dijawab. Jika jumlah iterasi sedikit, maka citra restorasi belum memberikan hasil yang bagus. Jika jumlah iterasi banyak, iterasi dapat menghasilkan artifact. Lagipula, jumlah iterasi berbeda-beda pada setiap citra. Citra yang mempunyai nisbah signal-to-ratio yang tinggi membutuhkan ratusan kali iterasi [10].

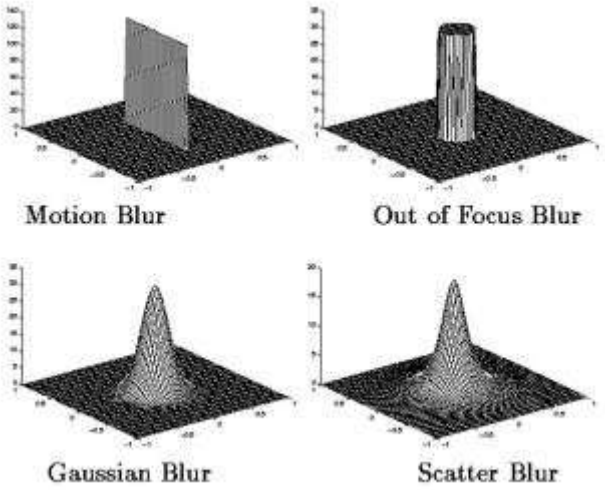
2.7 Point Spread Function

Penjelasan sederhana mengenai PSF ini dengan contoh citra bintang yang ditangkap oleh teleskop. Jika segala sesuatu sempurna seperti optik teleskop yang sempurna, sudut penglihatan yang sempurna, maka citra bintang hanya berupa pixel tunggal seperti ditunjukan pada Gambar 2.10 (a). Tetapi karena segala sesuatunya tidak sempurna citra bintang yang ditangkap oleh teleskop menyebar pada beberapa pixel, seperti pada Gambar 2.10 (b). Hal ini yang dikenal dengan nama point spread function.



Gambar 2 . 10 (a). Citra bintang seharusnya. (b). Citra bintang akibat PSF

Adapun jenis-jenis PSF sebagai berikut :



Gambar 2 . 11 Jenis-Jenis PSF

Keempat jenis PSF pada Gambar 2.11 *motion blur*, *out of Focus blur*, *Gaussian blur*, *Scatter blur* [2]. Merupakan faktor yang menyebabkan citra menjadi kabur. PSF diibaratkan sebuah lapisan kertas pada citra, sehingga jika PSF ditempelkan pada citra, citra akan terlihat tidak jelas. Disetiap jenis PSF memiliki karakteristik yang mudah dibedakan, contohnya pada motion blur citra akan terlihat seperti ditarik kearah samping.

2.8 *Mean Square Error (MSE) & Peak Signal Noise Ratio (PSNR)*

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. PSNR diukur dalam satuan desibel. Pada penelitian ini, PSNR digunakan untuk mengetahui perbandingan kualitas citra *cover* sebelum dan sesudah disisipkan pesan. Untuk menentukan PSNR, terlebih dahulu harus ditentukan *Mean Square Error* (MSE). MSE adalah nilai error kuadrat rata-rata antara citra cover dengan citra tersteganografi, secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$MSE = \frac{1}{MN}\sum_{y=1}^{M}\sum_{x=1}^{N}[I_{(x,y)} - I'_{(x.y)}]^2 \quad (6)$$

Persamaan 6 rumus MSE

Keterangan :

MSE = Nilai Mean Square Error

M = Panjang citra (dalam pixel)

$I_{(x,y)}$ = nilai piksel dari hasil

N = Lebar citra (dalam pixel)

$I'_{(x,y)}$ = nilai piksel pada citra awal

Nilai MSE = 0 merupakan nilai titik konvergensi. Pada umumnya, suatu citra terekontruksi dikatakan mencapai titik konvergensi bilai nilai MSE mendekati nol. Jika nilai MSE mendekati nol, berarti nilai PSNR semakin besar. Ini berarti semakin besar nilai PSNR maka semakin bagus kualitas citra terekontruksi [11]. Setelah diperoleh nilai MSE maka nilai PSNR dapat dihitung dari kuadrat nilai maksimum dibagi dengan MSE. Secara matematis, nilai PSNR dirumuskan berikut :

$$PSNR = 10 * LOG10(\frac{MAXi^2}{MSE}) \quad (7)$$

Persamaan 7 Rumus PSNR

Keterangan : MSE = nilai MSE

MAXi = nilai maksimum dari pixel citra yang digunakan

Semakin rendah Nilai MSE maka akan semakin baik, dan semakin besar nilai PSNR maka semakin baik kualitas citra. Selain itu MSE dan PSNR juga memiliki standarisasi yang dianggap baik, yakni untuk MSE standar yang dianggap paling baik adalah yang memiliki nilai MSE < 1. Sedangkan PSNR standar yang dianggap paling baik adalah yang memiliki nilai PSNR >= 50db untuk format gambar maupun video [4].