

Program Studi	: Teknik Informatika
Nama mata kuliah/Kode	: Visi Komputer/447D4233
Jumlah SKS	: 4 (empat)
Pengajar	: 1. Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, MT. 2. Dr.Eng. Intan Sari Areni, ST., MT
Sasaran Belajar	: Mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan pengertian pengolahan citra dan visi komputer, melakukan proses dan mengaplikasikan visi komputer dalam bidang keinformatikaan.
Mata Kuliah Prasyarat	: Aljabar Linier
Deskripsi mata kuliah	: Mata kuliah ini membahas tentang pengertian pengolahan citra, hubungan pengolahan citra dengan grafika komputer dan pengenalan pola serta visi komputer. Sebelum dapat melakukan operasi pemrosesan citra dijelaskan terlebih dahulu konsep dasar citra dan elemen sistem pemrosesan citra digital, representasi matematis yang menunjang operasi pengolahan citra. Operasi pengolahan citra terdiri dari peningkatan kualitas citra, perbaikan citra, segmentasi dan pemampatan citra untuk keperluan penyimpanan hasil dari pengolahan citra.

#### **SASARAN PEMBELAJARAN :**

- Mampu menjelaskan elemen sistem pemrosesan citra digital.
- Menjelaskan tentang Akuisisi Citra

#### **METODE PEMBELAJARAN**

Metode pembelajaran pada pertemuan kedua ini menggunakan metode kuliah (ceramah), praktek menggunakan perangkat lunak Matlab dan diskusi (*collaborative learning*) selama 200 menit.

#### **INDIKATOR PENILAIAN DAN BOBOTNYA**

1. Kejelasan pemahaman istilah citra dan pengolahan citra.
2. Kejelasan tentang digitalisasi citra, elemen elemen citra digital dan format file citra.
3. Kejelasan tentang sistem pemrosesan citra digital
4. Kejelasan tentang akuisisi citra
5. Kerja sama
6. Kreativitas

Bobot pada pertemuan ini adalah 5.

## 2. Pembentukan Citra

### 2.1. Pendahuluan

Citra ada dua macam: citra kontinu dan citra diskrit. Citra sebagai keluaran dari suatu sistem perekaman data dapat bersifat :

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

Sifat (1) dan (2) adalah citra kontinu, sifat (3) adalah citra diskrit. Citra kontinu dihasilkan dari sistem optik yang menerima sinyal analog, misalnya mata manusia dan kamera analog. Citra diskrit dihasilkan melalui proses digitalisasi terhadap citra kontinu. Beberapa sistem optik dilengkapi dengan fungsi digitalisasi sehingga ia mampu menghasilkan citra diskrit, misalnya kamera digital dan scanner. Citra diskrit disebut juga citra digital. Komputer digital yang umum dipakai saat ini hanya dapat mengolah citra digital.

### 2.2. Model Citra

Secara harafiah, citra (*image*) adalah gambar pada bidang dua dimensi yang merupakan fungsi kontinu dari intensitas cahaya. Secara matematis fungsi intensitas cahaya pada bidang dua dimensi disimbolkan dengan  $f(x,y)$ , yang dalam hal ini:

$(x,y)$  : koordinat pada bidang dua dimensi

$f(x,y)$  : intensitas cahaya (*brightness*) pada titik  $(x,y)$



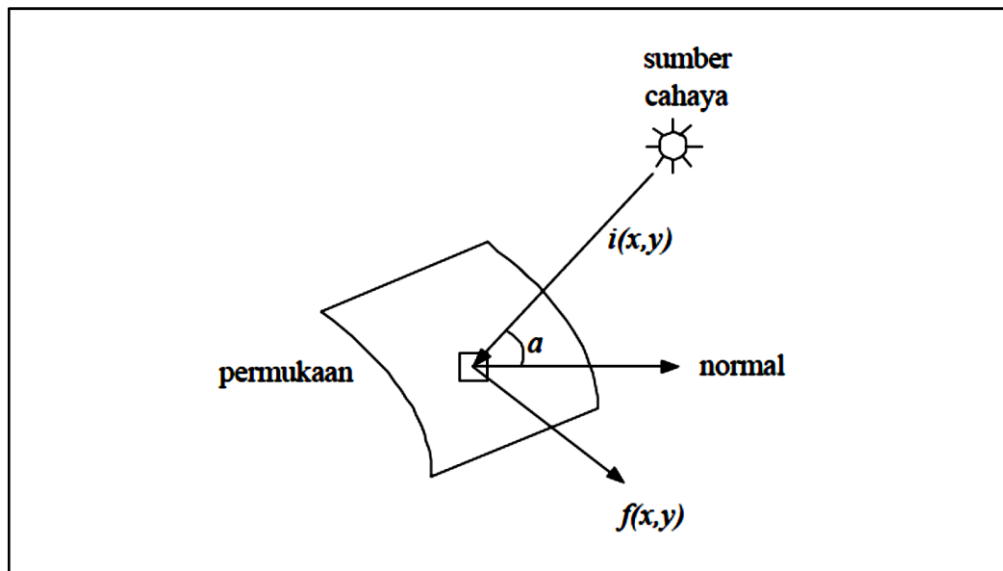
Gambar 2.1. Cara menentukan koordinat titik di dalam citra

Gambar 2.1 memperlihatkan posisi koordinat pada bidang citra. Sistem koordinat yang diacu adalah sistem koordinat kartesian, yang dalam hal ini sumbu mendatar menyatakan sumbu-X, dan sumbu tegak menyatakan sumbu-Y.

Karena cahaya merupakan bentuk energi, maka intensitas cahaya bernilai antara 0 sampai tidak berhingga,  $0 \leq f(x,y) < \infty$ .

Nilai  $f(x,y)$  sebenarnya adalah hasil kali dari :

1.  $i(x,y)$ = jumlah cahaya yang berasal dari sumbernya (*illumination*), nilainya antara 0 sampai tidak berhingga, dan
2.  $r(x,y)$ = derajat kemampuan objek memantulkan cahaya (*reflection*) nilainya antara 0 dan 1.



Gambar 2.2. Pembentukan Citra

Gambar 2.2 memperlihatkan proses pembentukan intensitas cahaya. Sumber cahaya menyinari permukaan objek. Jumlah pancaran (illuminasi) cahaya yang diterima objek pada koordinat  $(x,y)$  adalah  $i(x,y)$ . Objek memantulkan cahaya yang diterimanya dengan derajat pantulan  $r(x,y)$ . Hasil kali antara  $i(x,y)$  dan  $r(x,y)$  menyatakan intensitas cahaya pada koordinat  $(x,y)$  yang ditangkap oleh sensor visual pada sistem optik.

Jadi,

$$f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y)$$

yang dalam hal ini,

$$0 \leq i(x, y) < \infty$$

$$0 \leq r(x, y) \leq 1$$

sehingga

$$0 \leq f(x,y) < \infty$$

Nilai  $i(x,y)$  ditentukan oleh sumber cahaya, sedangkan  $r(x,y)$  ditentukan oleh

karakteristik objek di dalam gambar. Nilai  $r(x,y) = 0$  mengindikasikan penerapan total, sedangkan  $r(x,y) = 1$  menyatakan pemantulan total. Jika permukaan mempunyai derajat pemantulan nol, maka fungsi intensitas cahaya,  $f(x,y)$ , juga nol. Sebaliknya, jika permukaan mempunyai derajat pemantulan 1, maka fungsi intensitas cahaya sama dengan iluminasi yang diterima oleh permukaan tersebut.

Contoh-contoh nilai  $i(x,y)$ :

1. pada hari cerah, matahari menghasilkan iluminasi  $i(x,y)$  sekitar 9000 *foot candles*,
2. pada hari mendung (berawan), matahari menghasilkan iluminasi  $i(x,y)$  sekitar 1000 *foot candles*,
3. pada malam bulan purnama, sinar bulan menghasilkan iluminasi  $i(x,y)$  sekitar 0.01 *foot candle*.

Contoh nilai  $r(x, y)$

1. benda hitam mempunyai  $r(x, y) = 0.01$ ,
2. dinding putih mempunyai  $r(x, y) = 0.8$ ,
3. benda logam dari *stainlesssteel* mempunyai  $r(x, y) = 0.65$ ,
4. salju mempunyai  $r(x, y) = 0.93$ .

Intensitas  $f$  dari gambar hitam putih pada titik  $(x,y)$  disebut **derajat keabuan** (*grey level*), yang dalam hal ini derajat keabuannya bergerak dari hitam ke putih, sedangkan citranya disebut **citra hitam-putih** (*greyscale image*) atau **citra monokrom** (*monochrome image*).

Derajat keabuan memiliki rentang nilai dari  $l_{\min}$  sampai  $l_{\max}$ , atau

$$l_{\min} < f < l_{\max}$$

Selang  $(l_{\min}, l_{\max})$  disebut **skala keabuan**.

Biasanya selang  $(l_{\min}, l_{\max})$  sering digeser untuk alasan-alasan praktis menjadi selang  $[0, L]$ , yang dalam hal ini nilai intensitas 0 menyatakan hitam, nilai intensitas  $L$  menyatakan putih, sedangkan nilai intensitas antara 0 sampai  $L$  bergeser dari hitam ke putih.

Sebagai contoh, citra hitam-putih dengan 256 *level* artinya mempunyai skala abu dari 0 sampai 255 atau  $[0, 255]$ , yang dalam hal ini nilai intensitas 0 menyatakan hitam, nilai intensitas 255 menyatakan putih, dan nilai antara 0 sampai 255 menyatakan warna keabuan yang terletak antara hitam dan putih.

Citra hitam-putih disebut juga citra satu kanal, karena warnanya hanya ditentukan oleh satu fungsi intensitas saja. Citra berwarna (*color images*) dikenal dengan nama citra spektral, karena warna pada citra disusun oleh tiga komponen warna yang disebut komponen *RGB*, yaitu merah (*red*), hijau (*green*), dan biru (*blue*). Intensitas suatu titik pada citra berwarna merupakan kombinasi dari tiga intensitas: derajat keabuan

merah ( $f_{\text{merah}}(x,y)$ ), hijau ( $f_{\text{hijau}}(x,y)$ ), dan biru ( $f_{\text{biru}}(x,y)$ ).

### 2.3. Digitalisasi Citra

Agar dapat diolah dengan komputer digital, maka suatu citra harus direpresentasikan secara numerik dengan nilai-nilai *diskrit*. Representasi citra dari fungsi malar (kontinu) menjadi nilai-nilai diskrit disebut *digitalisasi*. Citra yang dihasilkan inilah yang disebut citra digital (*digital image*). Pada umumnya citra digital berbentuk empat persegi panjang, dan dimensi ukurannya dinyatakan sebagai tinggi  $\times$  lebar (atau lebar  $\times$  panjang).

Citra digital yang tingginya  $N$ , lebarnya  $M$ , dan memiliki  $L$  derajat keabuan dapat dianggap sebagai fungsi :

$$f(x, y) \begin{cases} 0 \leq x \leq (M-1) \\ 0 \leq y \leq (N-1) \\ 0 \leq f \leq L \end{cases}$$

Citra digital yang berukuran  $N \times M$  lazim dinyatakan dengan matriks yang berukuran  $N$  baris dan  $M$  kolom sebagai berikut:

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

Indeks baris ( $i$ ) dan indeks kolom ( $j$ ) menyatakan suatu koordinat titik pada citra, sedangkan  $f(i, j)$  merupakan intensitas (derajat keabuan) pada titik ( $i, j$ ).

Masing-masing elemen pada citra digital (berarti elemen matriks) disebut *image element*, *picture element* atau *pixel* atau *pel*. Jadi, citra yang berukuran  $N \times M$  mempunyai  $NM$  buah *pixel*. Sebagai contoh, misalkan sebuah berukuran  $256 \times 256$  *pixel* dan direpresentasikan secara numerik dengan matriks yang terdiri dari 256 buah baris (diindeks dari 0 sampai 255) dan 256 buah kolom (diindeks dari 0 sampai 255) seperti contoh berikut:

$$\begin{bmatrix} 0 & 134 & 145 & \cdots & \cdots & 231 \\ 0 & 167 & 201 & \cdots & \cdots & 197 \\ 220 & 187 & 189 & \cdots & \cdots & 120 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 221 & 219 & 210 & \cdots & \cdots & 156 \end{bmatrix}$$

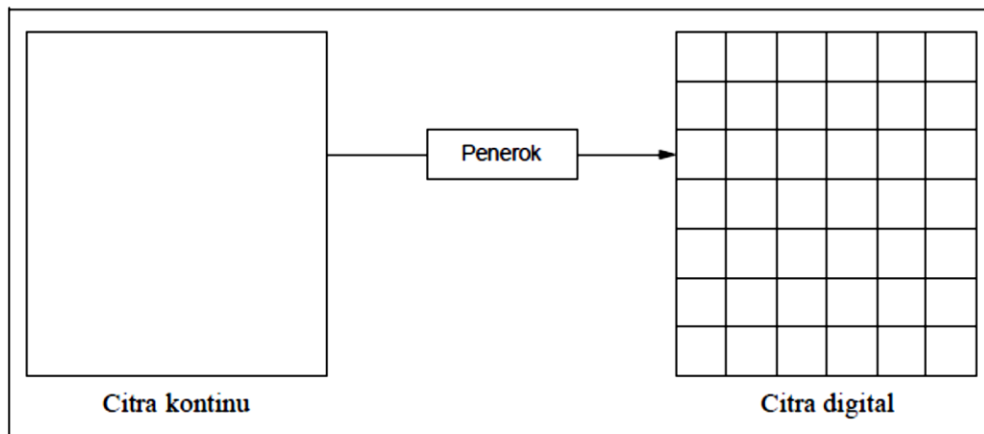
*Pixel* pertama pada koordinat (0, 0) mempunyai nilai intensitas 0 yang berarti warna *pixel* tersebut hitam, *pixel* kedua pada koordinat (0, 1) mempunyai intensitas 134 yang berarti warnanya antara hitam dan putih, dan seterusnya.

Proses digitalisasi citra ada dua macam:

1. Digitalisasi spasial ( $x, y$ ), sering disebut sebagai penerokan (*sampling*).
2. Digitalisasi intensitas  $f(x, y)$ , sering disebut sebagai *kuantisasi*.

### Penerokan

Citra kontinu diterok pada grid-grid yang berbentuk bujursangkar (kisi-kisi dalam arah horizontal dan vertikal). Perhatikan Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Penerokan secara spasial

Terdapat perbedaan antara koordinat gambar (yang diterok) dengan koordinat matriks (hasil digitalisasi). Titik asal (0, 0) pada gambar dan elemen (0, 0) pada matriks tidak sama. Koordinat  $x$  dan  $y$  pada gambar dimulai dari sudut kiri bawah, sedangkan penomoran *pixel* pada matriks dimulai dari sudut kiri atas (Gambar 2.4).

Dalam hal ini,

$$i = x, \quad 0 \leq i \leq N - 1$$

$$j = (M - y), \quad 0 \leq j \leq M - 1$$

$$x = D_x / N \text{ increment}$$

$$y = D_y / M \text{ increment}$$

$N$  = jumlah maksimum *pixel* dalam satu baris

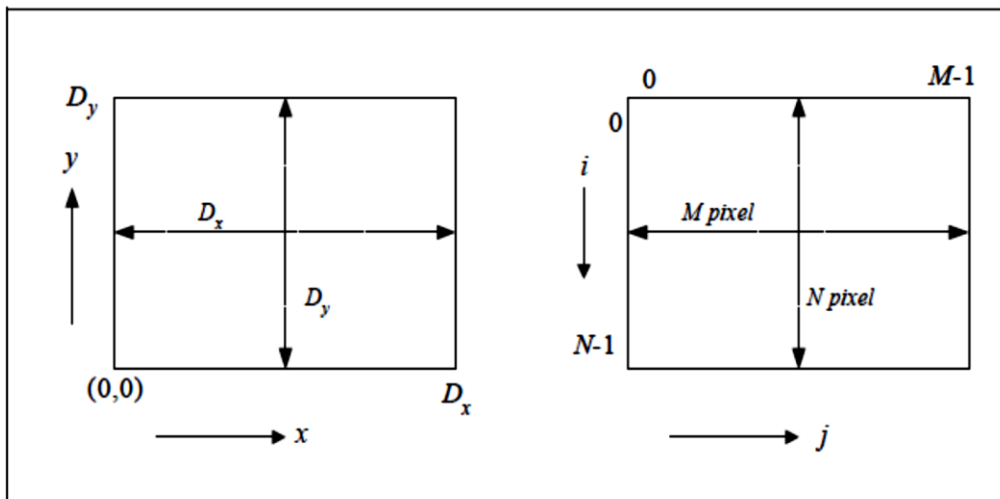
$M$  = jumlah maksimum *pixel* dalam satu kolom

$D_x$  = lebar gambar (dalam inchi)

$D_y$  = tinggi gambar (dalam inchi)

Catatan: beberapa referensi menggunakan (1,1) – ketimbang (0,0) – sebagai koordinat

elemen pertama di dalam matriks.



Gambar 2.4. Hubungan antara elemen gambar dan elemen matriks

### Kuantisasi

Elemen  $(i, j)$  di dalam matriks menyatakan rata-rata intensitas cahaya pada area citra yang direpresentasikan oleh *pixel*. Sebagai contoh, tinjau citra biner yang hanya mempunyai 2 derajat keabuan, 0 (hitam) dan 1 (putih). Sebuah gambar yang berukuran  $10 \times 10$  inchi dinyatakan dalam matriks yang berukuran  $5 \times 4$ , yaitu lima baris dan 4 kolom. Tiap elemen gambar lebarnya 2.5 inchi dan tingginya 2 inci akan diisi dengan sebuah nilai bergantung pada rata-rata intensitas cahaya pada area tersebut (Gambar 2.5).

Area  $2.5 \times 2.0$  inchi pada sudut kiri atas gambar dinyatakan dengan lokasi (0, 0) pada matriks  $5 \times 4$  yang mengandung nilai 0 (yang berarti tidak ada intensitas cahaya). Area  $2.5 \times 2.0$  inchi pada sudut kanan bawah gambar dinyatakan dengan lokasi (4, 3) pada matriks  $5 \times 4$  yang mengandung nilai 1 (yang berarti iluminasi maksimum).

Untuk memudahkan implementasi, jumlah terokan biasanya diasumsikan perpangkatan dari dua,

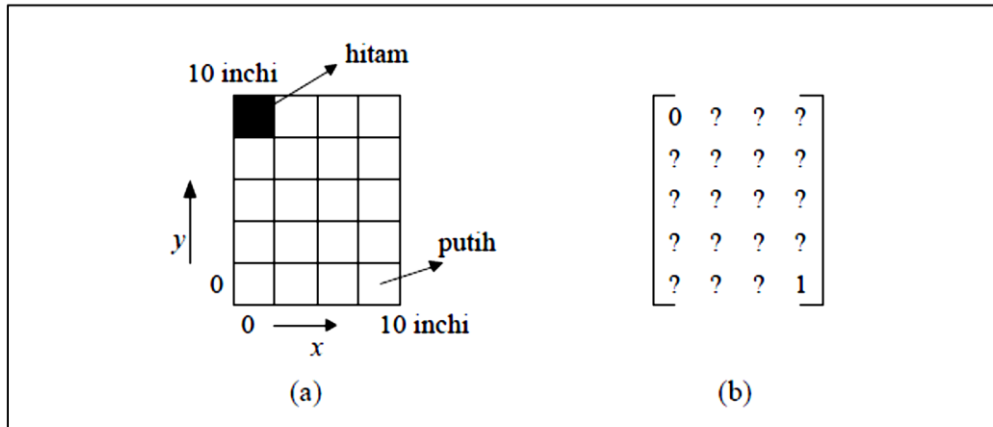
$$N = 2^n$$

yang dalam hal ini,

$N$  = jumlah penerokan pada suatu baris/kolom

$n$  = bilangan bulat positif

Contoh ukuran penerokan:  $256 \times 256 \text{ pixel}$ ,  $128 \times 256 \text{ pixel}$ .



Gambar 2.5.(a)Gambar yang diterok,(b)Matriks yang merepresentasikan gambar

Pembagian gambar menjadi ukuran tertentu menentukan resolusi (yaitu derajat rincian yang dapat dilihat) spasial yang diperoleh. Semakin tinggi resolusinya, yang berarti semakin kecil ukuran *pixel* (atau semakin banyak jumlah *pixel*-nya), semakin halus gambar yang diperoleh karena informasi yang hilang akibat pengelompokan derajat keabuan pada penerokan semakin kecil.

Gambar 2.6 memperlihatkan efek perbedaan penerokan pada citra Lena, masing-masing  $256 \times 256$ ,  $128 \times 128$ ,  $64 \times 64$ , dan  $32 \times 32$  *pixel*, seluruh citra mempunyai jumlah derajat keabuan sama, yaitu 256 buah. Karena area tampilan untuk keempat citra Lena pada Gambar 2.6 sama, (yaitu  $256 \times 256$  *pixel*), maka *pixel-pixel* citra yang beresolusi rendah diduplikasi untuk mengisi seluruh bidang tampilan. Hal ini menghasilkan efek blok-blok yang sering diamati pada gambar beresolusi rendah pada umumnya.

Langkah selanjutnya setelah proses penerokan adalah kuantisasi. Proses kuantisasi membagi skala keabuan (0,  $L$ ) menjadi  $G$  buah level yang dinyatakan dengan suatu harga bilangan bulat (*integer*), biasanya  $G$  diambil perpangkatan dari 2,

$$G = 2^m$$

yang dalam hal ini,

$G$  = derajat keabuan

$m$  = bilangan bulat positif

Skala Keabuan	Rentang Nilai Keabuan	Pixel Depth
$2^1$ (2 nilai)	0, 1	1 bit
$2^2$ (4 nilai)	0 sampai 3	2 bit
$2^3$ (8 nilai)	0 sampai 7	3 bit
$2^8$ (256 nilai)	0 sampai 255	8 bit





Gambar 2.6. Ukuran penerokan yang berbeda-beda menghasilkan kualitas citra yang berbeda pula Kuantisasi

Hitam dinyatakan dengan nilai derajat keabuan terendah, yaitu 0, sedangkan putih dinyatakan dengan nilai derajat keabuan tertinggi, misalnya 15 untuk 16 level. Jumlah bit yang dibutuhkan untuk merepresentasikan nilai keabuan *pixel* disebut *kedalaman pixel* (*pixel depth*). Citra sering diasosiasikan dengan kedalaman *pixel*-nya. Jadi, citra dengan kedalaman 8 bit disebut juga citra 8-bit (atau citra 256 warna).

Pada kebanyakan aplikasi, citra hitam-putih dikuantisasi pada 256 level dan membutuhkan 1 *byte* (8 bit) untuk representasi setiap *pixel*-nya ( $G = 256 = 2^8$ ). Citra biner (*binary image*) hanya dikuantisasi pada dua level: 0 dan 1. Tiap *pixel* pada citra biner cukup direpresentasikan dengan 1 bit, yang mana bit 0 berarti hitam dan bit 1 berarti putih.

Besarnya daerah derajat keabuan yang digunakan menentukan resolusi kecerahan dari gambar yang diperoleh. Sebagai contoh, jika digunakan 3 bit untuk menyimpan harga bilangan bulat, maka jumlah derajat keabuan yang diperoleh hanya 8, jika

digunakan 4 bit, maka derajat keabuan yang diperoleh adalah 16 buah. Semakin banyak jumlah derajat keabuan (berarti jumlah bit kuantisasinya makin banyak), semakin bagus gambar yang diperoleh karena kemenerusan derajat keabuan akan semakin tinggi sehingga mendekati citra aslinya.

Gambar 2.7 memperlihatkan efek perbedaan kuantisasi citra Lena yang berukuran  $256 \times 256 \text{ pixel}$ , masing-masing 256 level dan 128 level keabuan.



Gambar 2.7. Citra Lena yang dikuantisasi pada 256 level dan 128 level

Penyimpanan citra digital yang diterok menjadi  $N \times M$  buah *pixel* dan dikuantisasi menjadi  $G = 2^m$  level derajat keabuan membutuhkan memori sebanyak

$$b = N \times M \times m \text{ bit.}$$

Sebagai contoh, menyimpan citra Lena yang berukuran dengan  $512 \times 512 \text{ pixel}$  dengan 256 derajat keabuan membutuhkan memori sebesar  $512 \times 512 \times 8 \text{ bit} = 2048.000 \text{ bit}$ .

Secara keseluruhan, resolusi gambar ditentukan oleh  $N$  dan  $m$ . Makin tinggi nilai  $N$  (atau  $M$ ) dan  $m$ , maka citra yang dihasilkan semakin bagus kualitasnya (mendekati citra menerus). Untuk citra dengan jumlah objek yang sedikit, kualitas citra ditentukan oleh nilai  $m$ . Sedangkan untuk citra dengan jumlah objek yang banyak, kualitasnya ditentukan oleh  $N$  (atau  $M$ ).

Seluruh tahapan proses digitalisasi (penerokan dan kuantisasi) di atas dikenal sebagai konversi analog-ke-digital, yang biasanya menyimpan hasil proses di dalam media penyimpanan.

## Resolusi

Ada dua jenis resolusi yang perlu diketahui, yaitu resolusi spasial dan resolusi kecermerlangan. Resolusi spasial adalah ukuran halus atau kasarnya pembagian kisi-kisi baris dan kolom pada saat dilakukan sampling. Resolusi spasial dipakai untuk menentukan jumlah piksel per satuan panjang. Biasanya satuan resolusi ini adalah dpi (*dot per inch*). Resolusi ini sangat berpengaruh pada detail dan perhitungan gambarnya. Sebagai contoh, citra dengan resolusi 50 dpi, artinya 1 inch mempunyai 50 piksel dan bila luas citra 1 inch<sup>2</sup> berarti citra tersebut mempunyai jumlah piksel 50×50 piksel. Bila ukuran citra diperbesar menjadi 10×10 inch<sup>2</sup> maka jumlah pikselnya tetap 50×50, tetapi resolusinya berubah menjadi 50:10 = 5 dpi. Artinya 1 inch hanya diisi 5 piksel. Hal ini mengakibatkan gambar menjadi kabur, pecah-pecah dan kasar.

Resolusi kecermerlangan (*intensitas/brightness*) atau biasanya disebut sebagai kedalaman bit/kedalaman warna (*Bit Depth*) adalah ukuran halus atau kasarnya pembagian tingkat gradasi warna saat dilakukan kuantisasi. *Bit Depth* menentukan berapa banyak informasi warna yang tersedia untuk ditampilkan dalam setiap piksel. Semakin besar nilainya, semakin bagus kualitas gambar yang dihasilkan. Tentu ukurannya juga semakin besar. Misalkan suatu gambar mempunyai bit depth = 1, berarti hanya ada 2 kemungkinan warna ( $2^1=2$ ) yang ada pada gambar tersebut, yaitu hitam dan putih. Bit depth = 8 berarti mempunyai kemungkinan warna  $2^8 = 256$  warna. Kedua jenis resolusi tersebut dihasilkan dari peralatan digital (scanner, printer, VGA card, Webcam, foto kamera digital dan peralatan-peralatan digital yang lain) karena umumnya peralatan digital dilengkapi dengan sistem sampling dan sistem kuantisasi. Setiap citra digital mempunyai karakteristik dasar, yaitu ukuran citra, resolusi, dan format lainnya. Ukuran citra dinyatakan dalam banyaknya piksel atau panjang kali lebar dari sebuah citra sehingga ukuran citra selalu bernilai bulat. Besar kecilnya ukuran citra digital tergantung pada besar kecilnya resolusi peralatan digital yang digunakan.

### 2.4. Jenis-jenis Citra Digital

Ada banyak cara untuk menyimpan citra digital di dalam memori. Cara penyimpanan menentukan jenis citra digital yang terbentuk. Beberapa jenis citra digital yang sering digunakan adalah citra biner, citra *grayscale* dan citra warna.

#### 2.4.1. Citra Biner (Monokrom)

Banyaknya warna : 2, yaitu hitam dan putih.

Dibutuhkan 1 bit memori untuk menyimpan kedua warna ini.

Gradasi warna:

0	1
---	---

bit 0 = warna hitam

bit 1 = warna putih

Gambar 2.8 merupakan contoh citra Lena dalam bentuk citra biner.



Gambar 2.8 Citra Lena dalam bentuk citra biner

### 2.4.2. Citra *Grayscale* (Skala Keabuan)

Banyaknya warna: tergantung pada jumlah bit yang disediakan di memori untuk menampung kebutuhan warna ini.

Citra 2 bit mewakili 4 warna dengan gradasi warna berikut :

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

Citra 3 bit mewakili 8 warna dengan gradasi warna berikut:

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

Semakin besar jumlah bit warna yang disediakan di memori, semakin halus gradasi warna yang terbentuk.

### 2.4.3. Citra Warna (*True Color*)

Setiap piksel pada citra warna mewakili warna yang merupakan kombinasi dari tiga warna dasar (RGB = *Red Green Blue*). Setiap warna dasar menggunakan penyimpanan 8 *bit* = 1 *byte*, yang berarti setiap warna mempunyai gradasi 255 warna. Berarti setiap piksel mempunyai kombinasi warna sebanyak  $2^8 \cdot 2^8 \cdot 2^8 = 2^{24} = 16$  juta warna lebih. Itu sebabnya format ini dinamakan *true color* karena mempunyai jumlah warna yang cukup besar sehingga bisa dikatakan hampir mencakup semua warna di alam.

Penyimpanan *true color* di dalam memori berbeda dengan citra *grayscale*. Setiap piksel dari citra *grayscale* 256 gradasi warna diwakili oleh 1 *byte*. Sedangkan 1 piksel citra *true color* diwakili oleh 3 *byte*, dimana masing-masing *byte* merepresentasikan warna merah (*Red*), hijau (*Green*) dan biru (*Blue*).

Penangkapan (*capture*) warna pada suatu citra meliputi penangkapan tiga citra secara simultan. Dengan sistem RGB, sebagai suatu standarisasi industri, intensitas masing-masing

warna baik *Red* (R), *Green* (G) ataupun *Blue* (B) harus diukur pada masing-masing spot. Dengan kamera yang beroperasi secara linier yang menjelajahi keseluruhan visible spectrum, kumpulan-kumpulan warna yang sederhana dapat digunakan untuk mengambil tiga citra, yang masing-masing, satu untuk spectra *Red* (R), *Green* (G) dan *Blue* (B).

Menempatkan filter secara mekanik di atas lensa kamera juga tidak begitu memuaskan jika tidak keduanya, citra dan kamera, dalam kondisi yang seimbang, walaupun filter tersebut terdiri dari sejumlah jalur berwarna yang terletak diantara lensa dan sensor. Suatu citra yang di-*scan*, intensita warna RGB diukur tergantung pada warna jalur-jalur pada spot yang baru saja diidentifikasi.

## 2.5. Elemen-elemen Citra Digital

Citra digital mengandung sejumlah elemen-elemen dasar. Elemen-elemen dasar tersebut dimanipulasi dalam pengolahan citra dan dieksploitasi lebih lanjut dalam komputer vision. Elemen-elemen dasar yang penting diantaranya:

### 1. Kecerahan (*brightness*)

Kecerahan adalah kata lain untuk intensitas cahaya. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian penerakan, kecerahan pada sebuah titik (*pixel*) 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  $10^{10}$ .

Batas penyesuaian gelap (terendah) disebut dengan *scotopic threshold*, sedangkan batas penyesuaian terang (tertinggi) disebut dengan *glare threshold*.

Sebagai contoh *scotopic threshold* terasa pada mata kita setelah lampu kita padamkan (terang ke gelap), sementara *glare threshold* kita rasakan setelah keluar dari gedung bioskop (gelap ke terang).

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, ternyata ditemukan bahwa kecerahan yang diterima oleh sistem visual mata manusia tidaklah linear (logaritmik). Atau dengan kata lain bahwa mata manusia mempunyai respon logaritmik terhadap *brightness*.

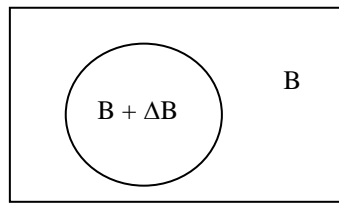
Untuk mengatasi jangkauan dinamik dari tingkat kecerahan yang begitu lebar ( $10^{10}$ ), mata manusia mempunyai cara yang unik yaitu dengan melakukan “tingkat penyesuaian kecerahan” (*brightness adaptation level*).

Pada setiap keadaan, mata memiliki tingkat penyesuaian kecerahan yang tertentu. Perhatikan contoh sebelumnya, dari terang ke gelap (mula-mula terasa buta tetapi lambat laun bertambah terang) dan dari gelap ke terang (mula-mula terasa amat terang kemudian berkurang). Jadi, dapat disimpulkan bahwa titik “nol” (relatif) kecerahan mata bergeser turun naik mengikuti keadaan sekitarnya.

### 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.

Untuk menentukan kepekaan kontras (*contrast sensitivity*) pada mata manusia dilakukan cara pengukuran sebagai berikut.



$B$  = intensitas latar belakang

$B + \Delta B$  = intensitas objek lingkaran

Pada suatu bidang gambar dengan intensitas sebesar  $B$ , kita perbesar intensitas objek lingkaran sehingga intensitasnya menjadi  $B + \Delta B$ . Besarnya pertambahan intensitas ( $\Delta B$ ) ini dilakukan sampai mata manusia dapat mendeteksi adanya perbedaan. Dengan demikian kepekaan kontras dinyatakan dalam rasio weber sebagai :  $\Delta B/B$ .

Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa mata manusia memiliki rasio Weber sebesar 2% untuk bermacam-macam nilai  $B$ .

### 3. Kontur (*contour*)

Kontur adalah keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada *pixel-pixel* yang bertetangga. Karena adanya perubahan intensitas inilah mata tepi-tepi (*edge*) objek di dalam citra dapat dideteksi.

### 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 ( $\lambda$ ) yang berbeda. Warna merah mempunyai panjang gelombang paling tinggi, sedangkan warna ungu (violet) 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* ( $B$ ).

Persepsi sistem visual manusia terhadap warna sangat relatif sebab dipengaruhi oleh banyak kriteria, salah satunya disebabkan oleh adaptasi yang menimbulkan distorsi. Misalnya bercak abu-abu di sekitar warna hijau akan tampak ke-ungu-unguan (distorsi terhadap ruang), atau jika mata melihat warna hijau lalu langsung dengan cepat melihat warna abu-abu, maka mata menangkap kesan warna abu-abu tersebut sebagai warna ungu (distorsi terhadap waktu).

### 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 ketimbang elemen lainnya (warna misalnya). Pada umumnya, citra yang dibentuk oleh mata merupakan citra dwimatra (2 dimensi), sedangkan objek yang dilihat umumnya berbentuk trimatra (3 dimensi). Informasi bentuk objek dapat diekstraksi dari citra pada permulaan pra-pengolahan dan

segmentasi citra. Salah satu tantangan utama pada *computer vision* adalah merepresentasikan bentuk, atau aspek-aspek penting dari bentuk.

## 6. Tekstur (*texture*)

Tekstur dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan *pixel-pixel* yang bertetangga. Jadi, tekstur tidak dapat didefinisikan untuk sebuah pixel. Sistem visual manusia pada hakikatnya tidak menerima informasi citra secara independen pada setiap *pixel*, melainkan suatu citra dianggap sebagai suatu kesatuan. Resolusi citra yang diamati ditentukan oleh skala pada mana tekstur tersebut dipersepsi. Sebagai contoh, jika kita mengamati citra lantai berubin dari jarak jauh, maka kita mengamati bahwa tekstur terbentuk oleh penempatan ubin-ubin secara keseluruhan, bukan dari persepsi pola di dalam ubin itu sendiri. Tetapi, jika kita mengamati citra yang sama dari jarak yang dekat, maka hanya beberapa ubin yang tampak dalam bidang pengamatan, sehingga kita mempersepsi bahwa tekstur terbentuk oleh penempatan pola-pola rinci yang menyusun tiap ubin. Tekstur adalah sifat-sifat atau karakteristik yang dimiliki oleh suatu daerah yang cukup besar sehingga secara alami sifat-sifat tadi dapat berulang dalam daerah tersebut. Tekstur adalah keteraturan pola-pola tertentu yang terbentuk dari susunan piksel-piksel dalam citra digital. Informasi tekstur dapat digunakan untuk membedakan sifat-sifat permukaan suatu benda dalam citra yang berhubungan dengan kasar dan halus, juga sifat-sifat spesifik dari kekasaran dan kehalusan permukaan tadi, yang sama sekali terlepas dari warna permukaan tersebut.

Berikut kegunaan analisis tekstur:

1. Tekstur memainkan peranan penting dalam banyak tugas pada sistem visual, seperti pemeriksaan permukaan, pengelompokkan objek pemandangan, orientasi permukaan, dan penentuan bentuk objek.
2. Digunakan untuk segmentasi citra, mengidentifikasi pola-pola yang teratur dan berulang, pola-pola intensitas, permukaan benda yang berhubungan dengan sifat kasar dan halus, koloni mikroba, jalan raya, bahkan sampai pada sifat permukaan bumi atau planet lainnya.
3. Untuk tujuan pengolahan citra, analisis tekstur adalah menjadikan pola variasi lokal intensitas yang berulang sebagai pembeda, manakala pola variasi tersebut terlalu kecil bila dibandingkan dengan objek yang diamati dalam resolusi yang dipakai.

Syarat terbentuknya tekstur adalah sebagai berikut:

1. Adanya pola-pola primitif yang terdiri dari satu atau lebih piksel. Bentuk pola primitif ini dapat berupa titik, garis lurus, garis lengkung, luasan, dan lain-lain yang merupakan elemen dasar dari sebuah bentuk.
2. Pola-pola primitif tadi muncul berulang-ulang dengan interval jarak dan arah tertentu sehingga dapat diprediksi atau ditemukan karakteristik pengulangannya.

## 7. Acuity

Yang dimaksudkan *acuity* di sini adalah kemampuan mata manusia untuk merinci secara detil bagian-bagian pada suatu citra (pada sumbu visual). Sebagai contoh, umpamanya kita

dihadapkan pada sederetan buku yang berjajar rapi dalam suatu rak. Maka dalam hal ini *acuity* adalah kemampuan mata kita dalam membaca judul-judul buku tanpa berusaha menggerakkan mata kita. Dari hasil percobaan ditemukan bahwa pada sumbu visual kemampuan *acuity* mata manusia amat besar, tapi di luar sumbu ini kemampuan tersebut amat berkurang.

## 8. Waktu dan Pergerakan

Respon suatu sistem visual tidak hanya berlaku pada faktor ruang, tetapi juga pada faktor waktu. Sebagai contoh, bila gambar-gambar diam ditampilkan bergantian secara cepat, maka kita akan mendapatkan kesan melihat gambar yang bergerak. Contoh, gambar untuk film kartun.

### 2.6. Format File Citra

Ada dua jenis format file citra yang sering digunakan dalam pengolahan citra, yaitu citra bitmap dan citra vector. Istilah ini biasanya digunakan pada saat kita melakukan desain grafis.

#### 2.6.1. Format File Citra Bitmap

Citra bitmap sering disebut juga dengan citra raster. Citra bitmap menyimpan data kode citra secara digital dan lengkap (cara penyimpanannya adalah per piksel). Citra bitmap dipresentasikan dalam bentuk matriks atau dipetakan dengan menggunakan bilangan biner atau sistem bilangan lain. Citra ini memiliki kelebihan untuk memanipulasi warna, tetapi untuk mengubah objek lebih sulit. Tampilan bitmap mampu menunjukkan kehalusan gradasi bayangan dan warna dari sebuah gambar. Oleh karena itu, bitmap merupakan media elektronik yang paling tepat untuk gambar-gambar dengan perpaduan gradasi warna yang rumit, seperti foto dan lukisan digital. Citra bitmap biasanya diperoleh dengan cara scanner, camera digital, video capture, dan lain-lain. Bila citra ini diperbesar maka tampilan di monitor akan tampak pecah-pecah (kualitas citra menurun). Beberapa format yang umum digunakan dalam pemrograman pengolahan citra diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Format File Citra Bitmap

Nama Format	Ekstensi	Kegunaan
Microsoft Windows Bitmap Format	BMP	Format umum untuk menyimpan citra bitmap yang dikembangkan oleh Microsoft.
Compuserve Graphics Interchange Format	GIFF	Format umum citra yang dirancang untuk keperluan transmisi melalui modem
Aldus Tagged Image File Format	TIF	Format kompleks dan multiguna yang dikembangkan oleh Aldus bersama Microsoft



Nama Format	Ekstensi	Kegunaan
WordPerfect Graphics Format	WPG	Format vector yang juga mendukung citra bitmap
GEM Image Format	IMG	Format bitmap yang dikembangkan untuk riset digital di lingkungan GEM
Zsoft Pengolahan Citra Paintbrush Format	PCX	Dirancang untuk menyimpan citra layar dan merupakan format bitmap yang didukung luas
Microsoft Paint Bitmap Format	MSP	Secara fungsional mirip dengan IMG dan PCX, tapi kurang populer
Apple Macpaint Format	PNTG	Format asli dari Macintosh Macpaint program
Sun Microsystem raster Format	RAS	Format bitmap asli yang digunakan pada Sun SPARCS
X Windows X-11 Bitmap Format	XBM	Format umum untuk menyimpan citra bitmap yang dikembangkan untuk X Windows

### 2.6.2. Format File Citra Vektor

Citra vektor dihasilkan dari perhitungan matematis dan tidak berdasarkan piksel, yaitu data tersimpan dalam bentuk vektor posisi, di mana yang tersimpan hanya informasi vektor posisi dengan bentuk sebuah fungsi. Pada citra vektor, mengubah warna lebih sulit dilakukan, tetapi membentuk objek dengan cara mengubah nilai lebih mudah. Oleh karena itu, bila citra diperbesar atau diperkecil, kualitas citra relatif tetap baik dan tidak berubah. Citra vektor biasanya dibuat menggunakan aplikasi-aplikasi citra vektor, seperti CorelDRAW, Adobe Illustrator, Macromedia Freehand, Autocad, dan lain-lain.

Yang termasuk dalam format ini adalah *AutoCAD Drawing Format* (DWG), *AutoCAD Drawing Exchange Format* (DXF), *Microstation Drawing Format* (DGN), dan *Scalable Vector Graphics* (SVG).

## 2.7. Elemen Sistem Pemrosesan Citra Digital

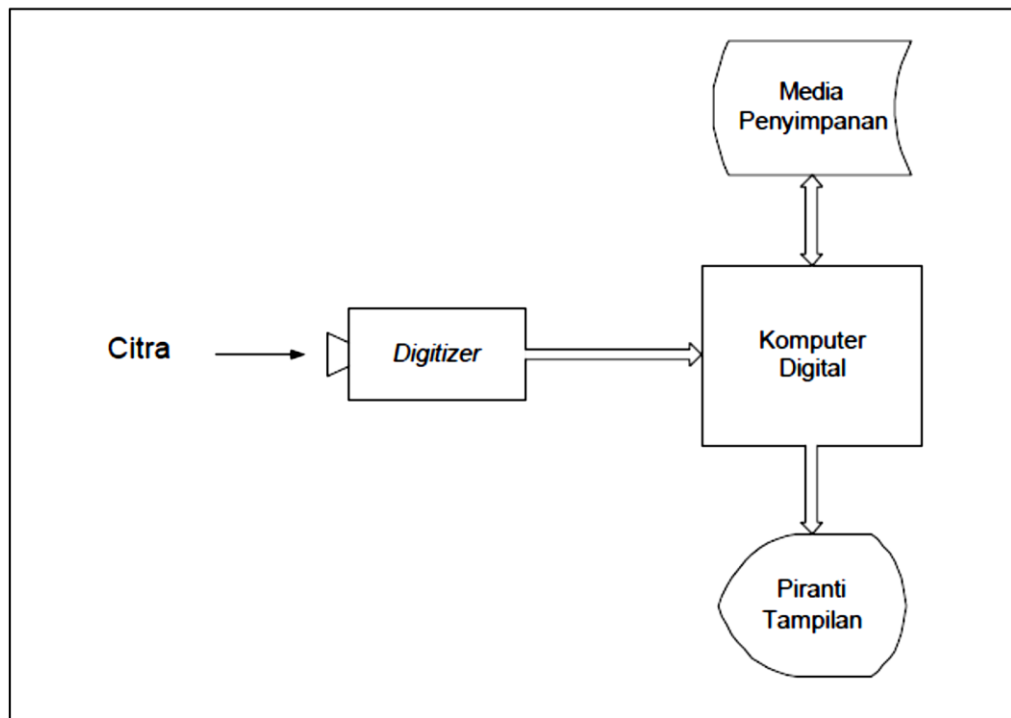
Secara umum, elemen yang terlibat dalam pemrosesan citra dapat dibagi menjadi empat komponen:

- a. *digitizer*
- b. komputer digital
- c. piranti tampilan
- d. piranti penyimpanan

Keempat komponen di atas ditunjukkan pada Gambar 2.9

Operasi dari sistem pemrosesan citra tersebut dapat dibagi menjadi empat kategori prinsip: digitalisasi, pemrosesan, penayangan dan penyimpanan.

*Digitizer* (atau *digital image acquisition system*) merupakan sistem penangkap citra digital yang melakukan penjelajahan citra dan mengkonversinya ke representasi numerik sebagai masukan bagi komputer digital. Hasil dari digitizer adalah matriks yang elemen-elemennya menyatakan nilai intensitas cahaya pada suatu titik. Contoh *digitizer* adalah kamera digital, *scanner*.



Gambar 2.9. Elemen Pemrosesan Citra

*Digitizer* terdiri dari tiga komponen dasar: sensor citra yang bekerja sebagai pengukur intensitas cahaya, perangkat penjelajah yang berfungsi merekam hasil pengukuran intensitas pada seluruh bagian citra, dan pengubah analog-ke-digital yang berfungsi melakukan penerokan dan kuantisasi.

Komputer digital yang digunakan pada sistem pemroses citra dapat bervariasi dari komputer mikro sampai komputer besar yang mampu melakukan bermacam-macam fungsi pada citra digital resolusi tinggi.

Piranti tampilan peraga berfungsi mengkonversi matriks intensitas yang merepresentasikan citra ke tampilan yang dapat diinterpretasi oleh mata manusia. Contoh piranti tampilan adalah monitor peraga dan pencetak (*printer*).

Media penyimpanan adalah piranti yang mempunyai kapasitas memori besar sehingga gambar dapat disimpan secara permanen agar dapat diproses lagi pada waktu yang lain.

## 2.8. Image Acquisition

Citra yang akan diproses dengan kaidah-kaidah di dalam Visi Komputer merupakan citra yang berasal dari kamera video, seperti citra hasil *capture* dari televisi, keumuman dalam bidang Visi Komputer. Citra dengan intensitas cahaya bukan hanya merupakan suatu sinyal citra yang di *capture* dan diproses oleh mesin.

### Intensitas Citra

Intensitas citra dapat ditranslasikan menjadi suatu sinyal elektrik, dan secara paling sederhana menggunakan *photosensitive cell* atau *photosensitive resistive devices*. Salah satu dari alat-alat *photosensitive* ini dapat digunakan untuk membuat suatu kamera primitif yang menghasilkan sederetan sinyal yang menghasilkan tingkatan-tingkatan intensitas cahaya untuk masing-masing spot pada gambar. Suatu sistem yang mengarahkan atau mengubah cahaya menjadi sel sensitif sangat diperlukan agar sel dapat melihat masing-masing spot pada gambar hingga keseluruhan gambar telah di-*scanning*.

Hal ini merupakan prinsip yang melatarbelakangi sistem televisi awal baird (*Baird's television system*). *Scanning device* merupakan suatu disk sirkuler dengan delapan lubang yang di *drill* membentuk mode spiral. Masing-masing lubang memungkinkan cahaya, walaupun dari satu spot gambar, untuk mencapai sensor cahaya. Disk merotasikan lubang-lubang tersebut untuk menscan keseluruhan gambar di dalam bentuk busur (*arc*) supaya sensor dapat mendaftarkan intensitas cahaya dari gambar yang discan. Ketika suatu lubang telah melalui tahap sensing maka lubang yang lain muncul melakukan tugas yang sama untuk merepresentasikan busur yang berbeda terhadap sensor. Oleh karenanya kedelapan lubang ini memungkinkan mesin menciptakan delapan baris citra di mana masing-masing baris menjadi suatu busur.

Prinsip pengulangan pengukuran intensitas cahaya hingga keseluruhan citra telah di-*scan* sampai saat ini masih digunakan, dengan pertimbangan yang berkaitan dengan lingkungan dunia kita. Standar citra yang dapat diterima, misalnya, suatu citra dimana baris-baris pembentuk citra tersebut tidak terlihat pada jarak pandang khusus, membutuhkan sedikitnya 500 *scan lines* untuk memberikan suatu konsep citra nyata. Konsekuensinya, suatu citra persegi membutuhkan sedikitnya 500 pengukuran sepanjang masing-masing *scan line*.

### Realtime Capture

Jika suatu citra direkam dalam waktu nyata, sedikitnya 25 citra diambil dalam satu detik dengan mengabaikan keadaan *flickering*. Jelas tak ada sistem mekanik yang setara dengan sistem baird dalam hal kemampuannya bekerja di dalam keadaan ini. Jika citra merupakan citra mono (tidak berwarna) dengan 256 grey levels maka spesifikasi yang dicapai harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

1. Kapasitas penyimpanan yang diperlukan untuk menangkap 1 detik citra dalam waktu nyata berkisar 6,25 Mbytes.

2. Mentransfer 6,25 Mbytes per detik ke dalam komputer membutuhkan suatu interface paralel. Serial interface yang memiliki kecepatan transfer 38 K baud masih terlalu lambat dalam hal ini.
3. Secara internal suatu mikrokomputer harus menyimpan 6,25 Mbytes per detik ke dalam unit penyimpanan disk.
4. Satu menit operasi waktu nyata akan mengisi ruang pada harddisk yang umum dipakai oleh mikrokomputer.

### **Citra Range**

Contoh citra range adalah citra yang ditangkap oleh radar. Pada tipe citra ini, intensitas cahaya tidak dapat ditangkap. Citra range secara khusus dapat berguna untuk sistem navigasi. Suatu pesawat (yang dilengkapi sistem radar) yang bergerak sangat perlu mengetahui jarak objek dari pesawat tersebut. Sementara itu, intensitas cahaya hanya dapat diperoleh jika sistem sudah terlebih dahulu dilengkapi informasi, seperti ukuran atau sistem *stereoscopic vision*.

### **Kamera Video**

Kamera telah mengalami beberapa perkembangan substansial dalam beberapa periode ini. Tipe mono berkualitas tinggi dan berharga murah telah dikembangkan ke dalam bentuk *smaller, lighter* dan lebih dingin dalam unit pengoperasiannya.

#### **- Mono (Black and White)**

Kamera yang berharga murah dan berkualitas sangat tinggi sangat tergantung pada kualitas dari tabung vidicon yang dimilikinya. Vidicon sendiri terdiri dari tabung kaca hampa yang secara internal diberi suatu lapisan konduktif *photosensitive* dan *film tin oxide* yang transparan. Lapisan *photosensitive* dibuat dari material semikonduktor yang ketahanannya berkurang ketika menerima cahaya.

#### **- Warna**

Bentuk sederhana dari kamera warna adalah lanjutan dari kamera mono yang dimodifikasi sedemikian rupa untuk menghasilkan variasi warna yang tidak hanya hitam dan putih saja. Filter warna ditempatkan di depan target. Vidicon FIC (*Filter Integrated Colour*) terdiri dari tabung vidicon dengan suatu filter yang sangat bagus yang terbuat dari deretan pewarnaan *Red* dan *Blue*, baris-baris vertikal yang rapat, yang dikirim ke dalam tabung. Ini berarti bahwa wilayah yang berbeda pada target diasosiasikan dengan pewarna *Red*, *Blue* atau warna *White* pada gambar. Nilai dikumpulkan untuk masing-masing pixel yang mempunyai ukuran warna yang berbeda dari spot yang sangat berdekatan. Jelas bahwa metode ini mengurangi resolusi tapi menambah koleksi warna.

Suatu cara alternatif membuat material semikonduktor sensitif terhadap perbedaan panjang gelombang. Batang vertikal yang sangat sensitif terhadap cahaya *Red (R)*, *Green (G)* dan *Blue (B)* masing-masing dikaitkan ke bus *Red (R)*, *Green (G)* dan *Blue (B)*, sehingga *metal ring* mengumpulkan suatu sinyal cahaya, keluarannya dikumpulkan secara langsung sebagai tiga sinyal berwarna.

Memungkinkan penghindaran pengurangan pada resolusi dengan memisahkan pandangan original menjadi tiga bagian, memfilter masing-masing bagian warna *Red (R)*, *Green (G)* dan *Blue (B)*, dan mengumpulkan cahaya setara tiga kamera mono. Ini merupakan pilihan yang mahal dan koreksi optis untuk berbagai posisi yang berbeda dari tiga tabung juga tidak mudah.

Metode tiga tabung dapat diimplementasikan dengan hanya mempunyai satu kamera, dengan hasil tangkapan kamera, juga masih berupa gambar. Ini dapat dilakukan dengan menangkap suatu intensitas citra tiga kali menggunakan suatu filter warna yang berbeda pada masing-masing waktu.

### **Capture**

Keluaran dari suatu kamera menyesuaikan dengan standar dari beberapa video, secara khusus suatu sinyal video komposit atau RGB, membutuhkan perekayasa format oleh perangkat – a frame grabber – yang menginterpretasikan sinyal analog yang termodulasi menjadi bentuk bingkai yang terdiri dari pixel-pixel. Frame grabber hanya berupa suatu chip tunggal sederhana ditambah sejumlah chip memori. Beberapa frame grabber yang murah menggunakan memori komputer untuk menangani frame dan pada memori *onboard* yang lain menangani sederetan frame yang akan diambil.

Memori yang ada pada frame disebut *frame buffer*. Untuk pengaplikasian waktu nyata, suatu *frame buffer* tidak tergantung pada memori komputer, walaupun *frame buffer* tersebut dihubungkan melalui DMA (*Direct Memory Access*). Pada umumnya, sistem yang berharga murah memakai waktu yang lama untuk tahap pendigitasian suatu gambar (sampai 30 atau 40 detik) dan juga cenderung menggunakan mesin memori dari pada memori *onboard*.

*Frame Grabber* memiliki sejumlah input video yang dapat diseleksi dan meneruskan sinyal-sinyal input tersebut untuk membentuk output video yang sesuai dengan memori *onboard*.

### **Kalibrasi**

Kalibrasi pada kamera sangat membutuhkan pertimbangan *error* di dalam kamera yang dapat menghasilkan perbedaan pencahayaan special (seperti *vignetting*) dan *error* geometris.

## **2.9. Contoh soal**

Scanner 500 dpi, 300 dpi dan scanner 100 dpi akan digunakan untuk pencitraan sebuah foto berwarna 3×4 inch. Jumlah byte penyimpanan untuk header adalah 1080 byte. Berapa ukuran citra digital yang dihasilkan oleh masing-masing scanner. Analisis hasilnya.

Jawab :

1. Scanner 500 dpi

Ukuran citra =  $(3 \times 500) \times (4 \times 500)$  piksel = 3.000.000 piksel

Untuk format citra berwarna (*true color*), setiap piksel terdiri dari 3 byte di mana masing-masing byte merepresentasikan warna merah, hijau dan biru. Jumlah byte yang diperlukan

untuk menyimpan format (header) citra = 1080 byte. Maka, citra digital tersebut memerlukan volume penyimpanan sebesar:

$$3.000.000 \times 3 \text{ byte} + 1080 \text{ byte} = 9.001.080 \text{ byte} \approx 9 \text{ MB.}$$

2. Scanner 300 dpi

Ukuran citra =  $(3 \times 300) \times (4 \times 300)$  piksel = 1.080.000 piksel sehingga citra digital berwarna tersebut memerlukan volume penyimpanan sebesar :  $1.080.000 \times 3 \text{ byte} + 1080 \text{ byte} = 3.241.080 \text{ byte} \approx 3 \text{ MB.}$

3. Scanner 100 dpi

Ukuran citra =  $(3 \times 100) \times (4 \times 100)$  piksel = 120.000 piksel sehingga citra digital berwarna tersebut memerlukan volume penyimpanan sebesar :  $120.000 \times 3 \text{ byte} + 1080 \text{ byte} = 361.080 \text{ byte} \approx 0,4 \text{ MB.}$

Dari hasil perhitungan diatas tampak bahwa semakin besar tingkat resolusi scanner, semakin besar pula ukuran citra yang dihasilkan.

## 2.10. Soal Latihan

1. Jelaskan bagaimana persyaratan untuk sistem pemrosesan citra berbantuan komputer akan tergantung pada resolusi citra yang diolah.
2. Jelaskan perbedaan digitalisasi spasial dan digitalisasi intensitas.
3. Jelaskan perbedaan skala keabuan dan derajat keabuan
4. Jelaskan perbedaan antara kecerahan dan kontras
5. Sebutkan 4 elemen pemrosesan citra digital dan jelaskan hubungan ke-4 elemen tersebut.
6. Jelaskan perbedaan citra dengan format bitmap dan citra dengan format vector.
7. Jelaskan perbedaan citra biner, citra grayscale, dan citra warna.

## 2.11. Daftar Pustaka

1. Gonzales, Rafael C., 1992, *Digital Image Processing*, Second Edition, Addison-Wesley publishing.
2. Michael C. Fairhurst, 1994, *Visi Komputer untuk Sistem Robotik, sebuah pengantar*, Penerbit Universitas Indonesia, Yogyakarta.
3. Rinaldi Munir, 2004, *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*, Edisi Pertama, Penerbit Informatika Bandung.
4. Tati Mengko, Richard Mengko, 1988, *Diktat Kuliah Pengolahan Citra*, Jurusan Teknik Elektro ITB