

Bab 2

Pembentukan Citra

Citra ada dua macam: citra kontinu dan 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. Bab 2 ini berisi konsep pembentukan citra, baik citra kontinu maupun citra digital.

2.1 Model Citra

Pada bagian kuliah yang pertama sudah dijelaskan bahwa citra merupakan fungsi *malar* (kontinyu) dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra. Secara matematis fungsi intensitas cahaya pada bidang dwimatra disimbolkan dengan $f(x, y)$, yang dalam hal ini:

(x, y) : koordinat pada bidang dwimatra

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

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 .



Gambar 2.1. Cara menentukan koodinat titik di dalam citra.

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 [GON77]:

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

Gambar 2.2 memperlihatkan proses pembentukan intensitas cahaya. Sumber cahaya menyinari permukaan objek. Jumlah pancaran (iluminasi) cahaya yang diterima objek pada koodinat (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,

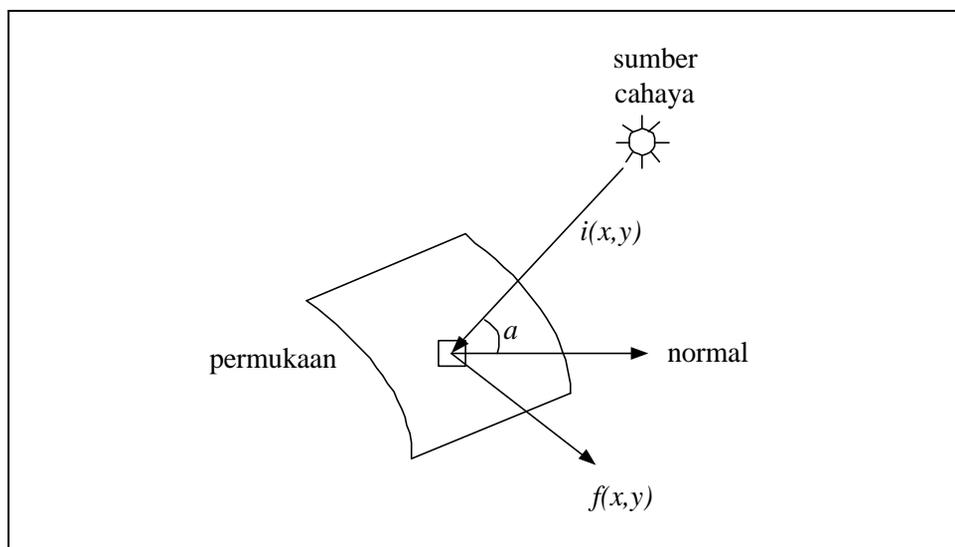
$$f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$$

yang dalam hal ini,

$$\begin{aligned} 0 \leq i(x, y) < \infty \\ 0 \leq r(x, y) \leq 1 \end{aligned}$$

sehingga

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



Gambar 2.2 Pembentukan Citra [PIT93]

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

2.2 Digitalisasi Citra

Agar dapat diolah dengan 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 [DUL97]:

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

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

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

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 256×256 *pixel* dan direpresentasikan secara numerik dengan matriks yang terdiri dari 256 buah baris (di-indeks dari 0 sampai 255) dan 256 buah kolom (di-indeks dari 0 sampai 255) seperti contoh berikut:

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

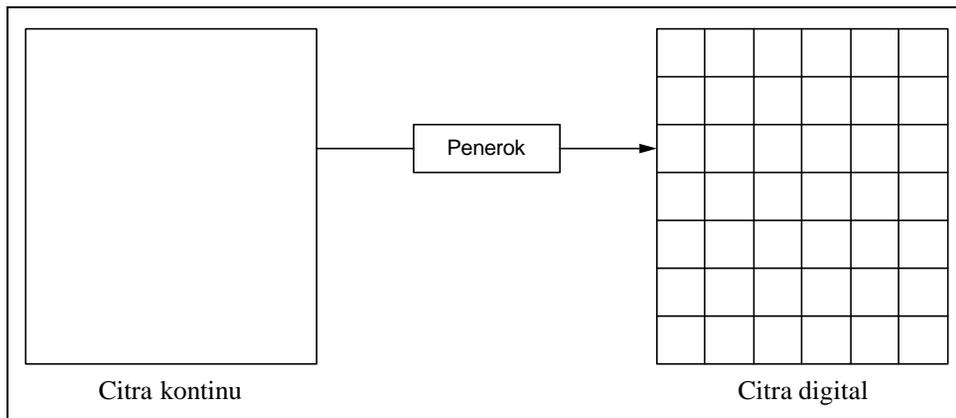
Pixel pertama pada koordinat (0, 0) mempunyai nilai intensitas 0 yang berarti warna *pixel* tersebut hitam, *pixel* kedua pada koordinat (0, 1) mempunyai intensitas 134 yang berarti warnanya antara hitam dan putih, dan seterusnya.

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*.

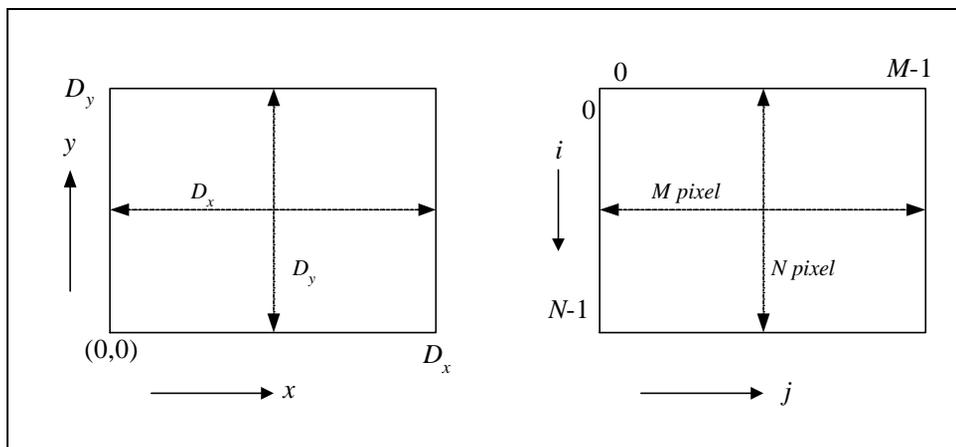
Penerokan

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).



Gambar 2.4. *Hubungan antara elemen gambar dan elemen matriks [GAL90]*

Dalam hal ini,

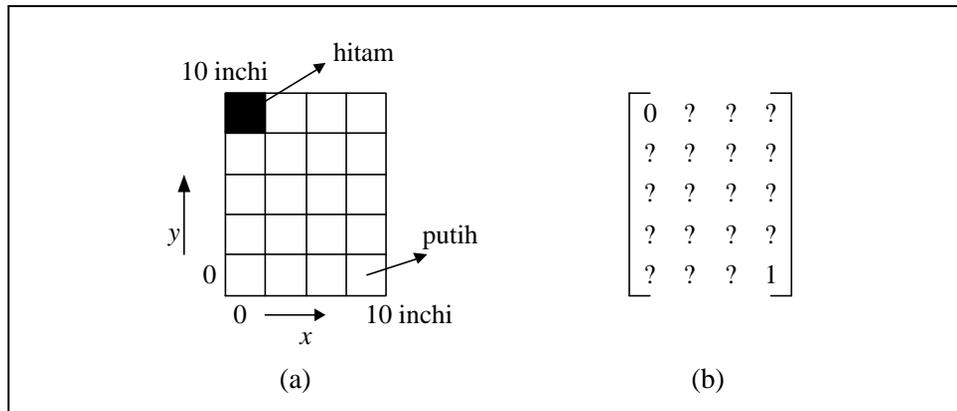
$$\begin{aligned}
 i &= x & , 0 \leq i \leq N - 1 \\
 j &= (M - y) & , 0 \leq j \leq M - 1 \\
 x &= D_x/N \text{ increment} \\
 y &= D_y/M \text{ increment}
 \end{aligned}$$

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.

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 10×10 inchi dinyatakan dalam matriks yang berukuran 5×4 , 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 2.5×2.0 inchi pada sudut kiri atas gambar dinyatakan dengan lokasi (0, 0) pada matriks 5×4 yang mengandung nilai 0 (yang berarti tidak ada intensitas cahaya). Area 2.5×2.0 inchi pada sudut kanan bawah gambar dinyatakan dengan lokasi (4, 3) pada matriks 5×4 yang mengandung nilai 1 (yang berarti iluminasi maksimum).



Gambar 2.5 (a) Gambar yang diterok, (b) matriks yang merepresentasikan gambar [GAL90]

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: 256×256 *pixel*, 128×256 *pixel*.

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 256×256 , 128×128 , 64×64 , dan 32×32 *pixel*, seluruh citra mempunyai jumlah derajat keabuan sama, yaitu 256 buah. Karena area tampilan untuk keempat citra Lena pada Gambar 2.6 sama, (yaitu 256×256 *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.



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

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	<i>Pixel Depth</i>
2^1 (2 nilai)	0, 1	1 bit
2^2 (4 nilai)	0 sampai 7	2 bit
2^3 (16 nilai)	0 sampai 15	3 bit
2^8 (256 nilai)	0 sampai 255	8 bit

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 256×256 *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

$$b = N \times M \times m$$

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

2.3 Elemen-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-elemen dasar yang penting diantaranya adalah:

1. Kecerahan (*brightness*).

Kecerahan adalah kata lain untuk intensitas cahaya. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian penerokan, 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} [MEN89].

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 keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada *pixel-pixel* yang bertetangga. Karena adanya perubahan intensitas 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 (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 keunguan (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) [MEN89].

5. Bentuk (*shape*)

Shape adalah properti intrinsik dari objek tiga dimensi, dengan pengertian bahwa *shape* merupakan properti intrinsik utama untuk sistem visual manusia [BAL82]. 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*)

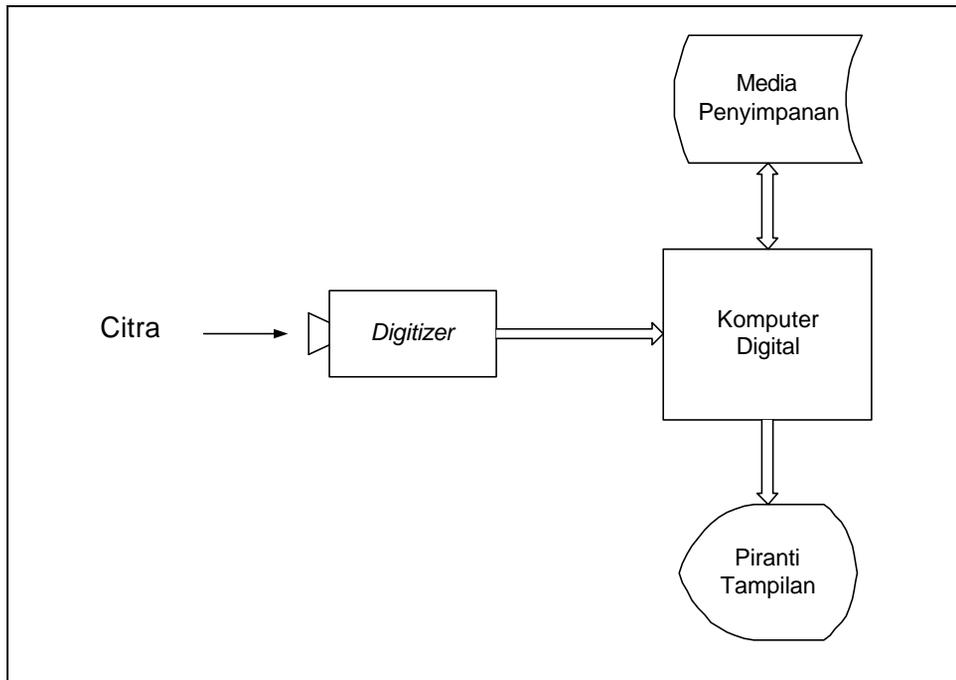
Tekstur dicirikan sebagai distribusi spasial dari derajat keabuan di dalam sekumpulan *pixel-pixel* yang bertetangga [JAI95]. Jadi, tekstur tidak dapat didefinisikan untuk sebuah *pixel*. Sistem visual manusia pada hakikatnya tidak menerima informasi citra secara independen pada setiap *pixel*, melainkan 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.

2.4 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 2.8 [GON77].



Gambar 2.8. Elemen pemrosesan citra

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*.

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.