

03 - Pembentukan Citra dan Digitalisasi Citra

IF4073 Pemrosesan Citra Digital

Oleh: Dr. Ir. Rinaldi, M.T

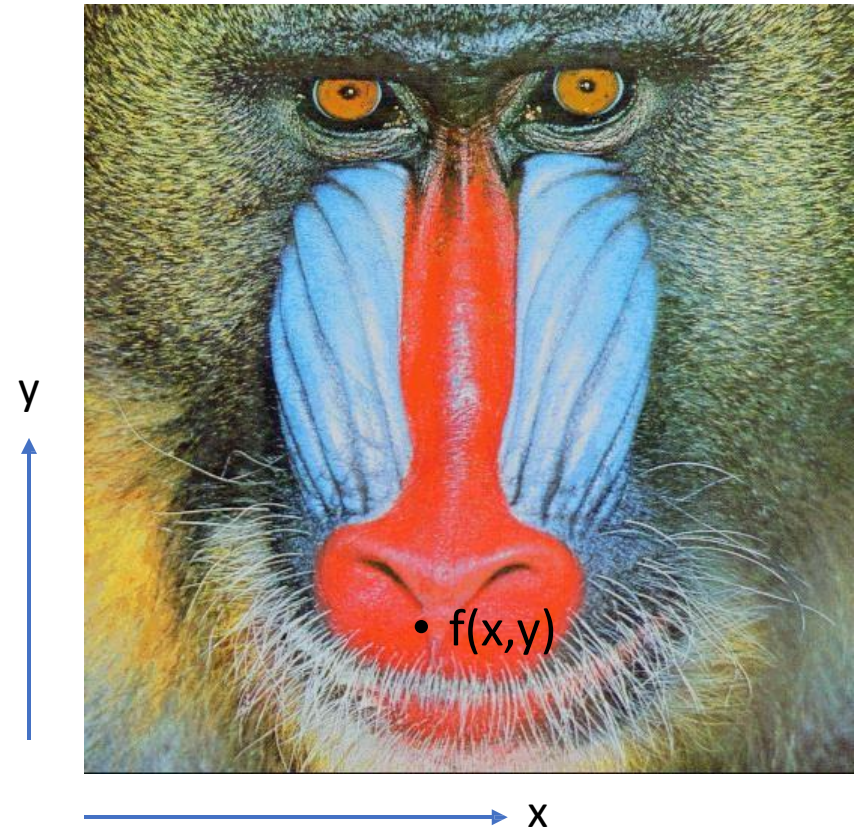


Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung
2025

Model Citra

- Secara matematis citra adalah fungsi intensitas cahaya pada bidang dwimatra disimbolkan dengan $f(x, y)$, yang dalam hal ini:

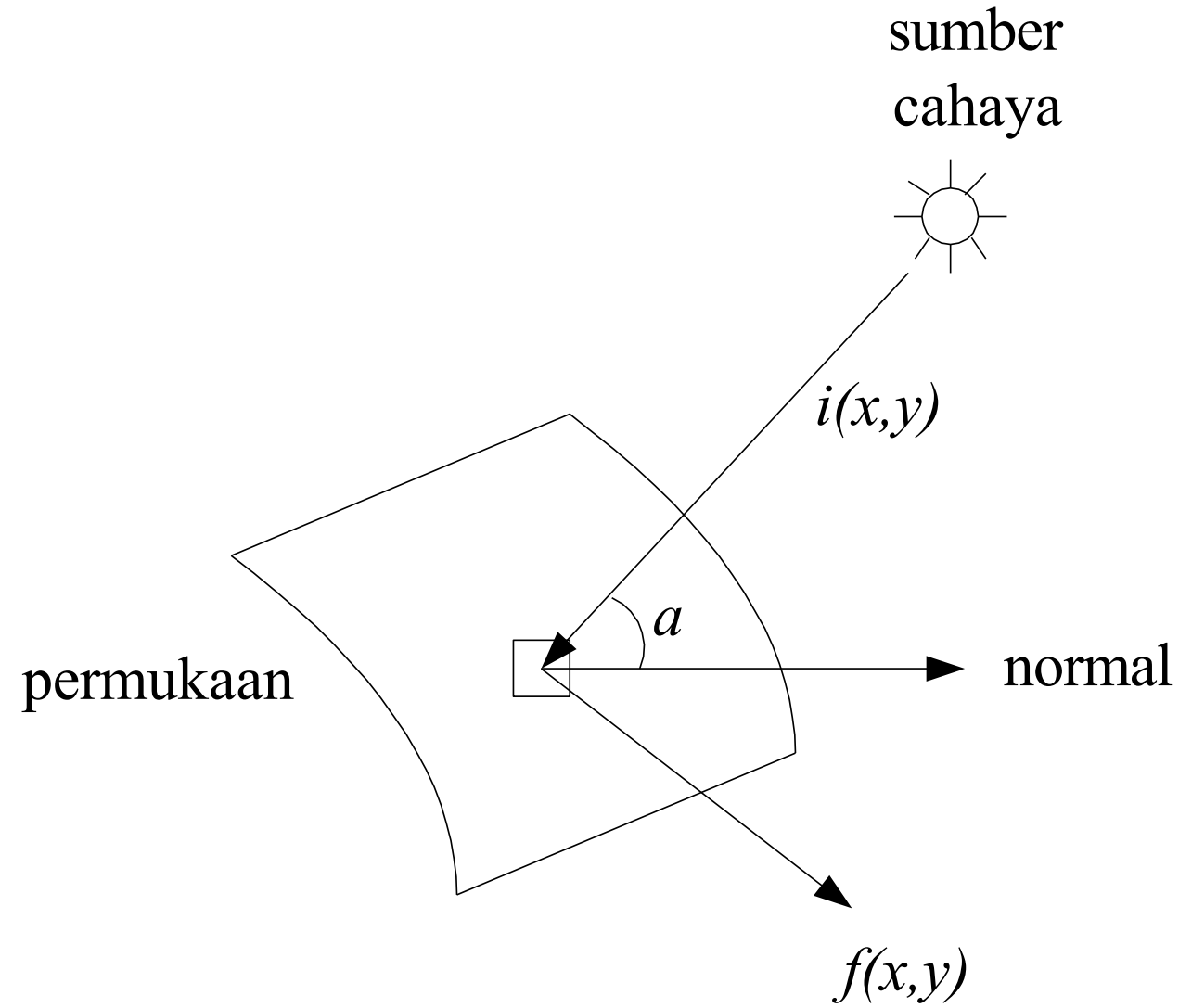
(x, y) : koordinat pada bidang dwimatra
 $f(x, y)$: intensitas cahaya (*brightness*)
pada titik (x, y)



- Karena cahaya merupakan bentuk energi, maka intensitas cahaya bernilai antara 0 sampai tidak berhingga,

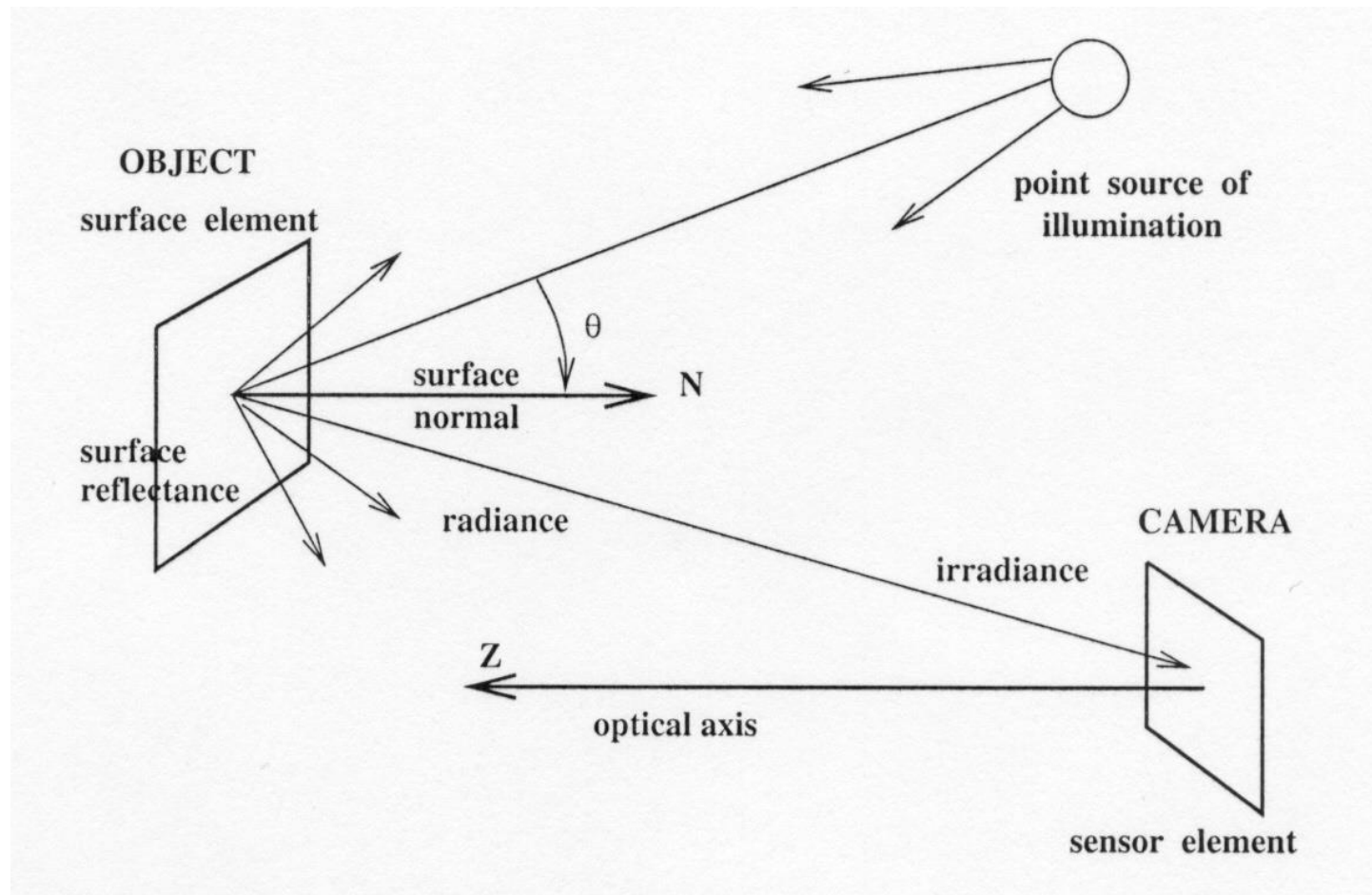
$$0 \leq f(x, y) < \infty$$

- Nilai $f(x, y)$ sebenarnya adalah hasil kali:
 $i(x, y)$ = jumlah cahaya yang berasal dari sumbernya (*illumination*),
 nilainya antara 0 sampai tidak berhingga, dan
 $r(x, y)$ = derajat kemampuan obyek memantulkan cahaya
 (*reflection*), nilainya antara 0 dan 1.
- Jadi, $f(x, y) = i(x, y) \cdot r(x, y)$,
 yang dalam hal ini,
 $0 \leq i(x, y) < \infty$
 $0 \leq r(x, y) \leq 1$



Sinyal $f(x,y)$ ini yang ditangkap oleh mata atau kamera

The scene is illuminated by a single source.
The scene reflects radiation towards the camera.
The camera senses it via chemicals on film.



- 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 penyerapan 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 $i(x, y)$:

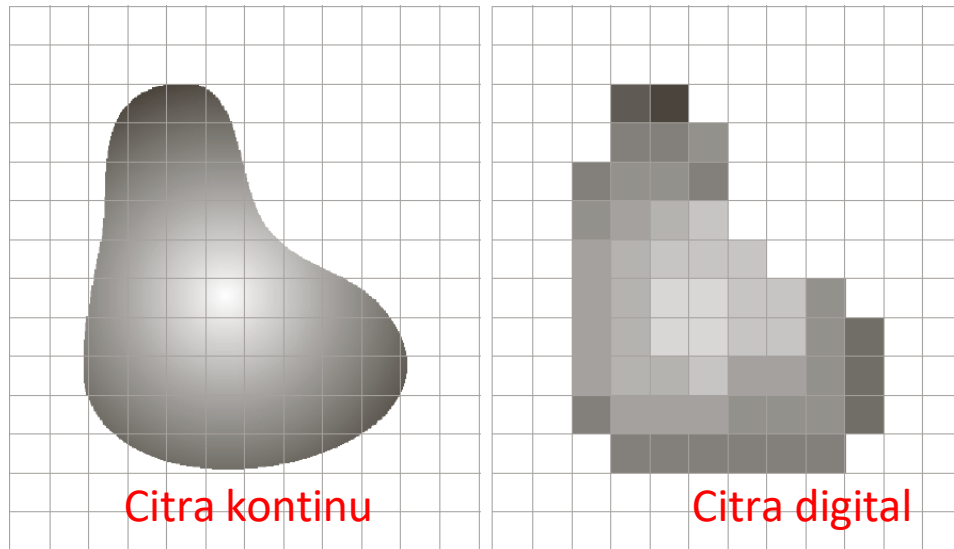
- pada hari cerah, matahari menghasilkan iluminasi $i(x, y) \approx 9000 \text{ foot candles}$,
- pada hari mendung (berawan), matahari menghasilkan iluminasi $i(x, y) \approx 1000 \text{ foot candles}$,
- pada malam bulan purnama, sinar bulan menghasilkan iluminasi $i(x, y) \approx 0.01 \text{ foot candle}$.

Contoh nilai $r(x, y)$

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

Digitalisasi Citra

- Citra adalah sinyal kontinu dwimatra, $f(x, y)$
- $f(x, y)$ menyatakan intensitas cahaya pada posisi (x, y)
- Agar citra dapat diolah oleh komputer digital, maka citra perlu di-digitalisasi (atau di-digitisasi) menjadi citra digital

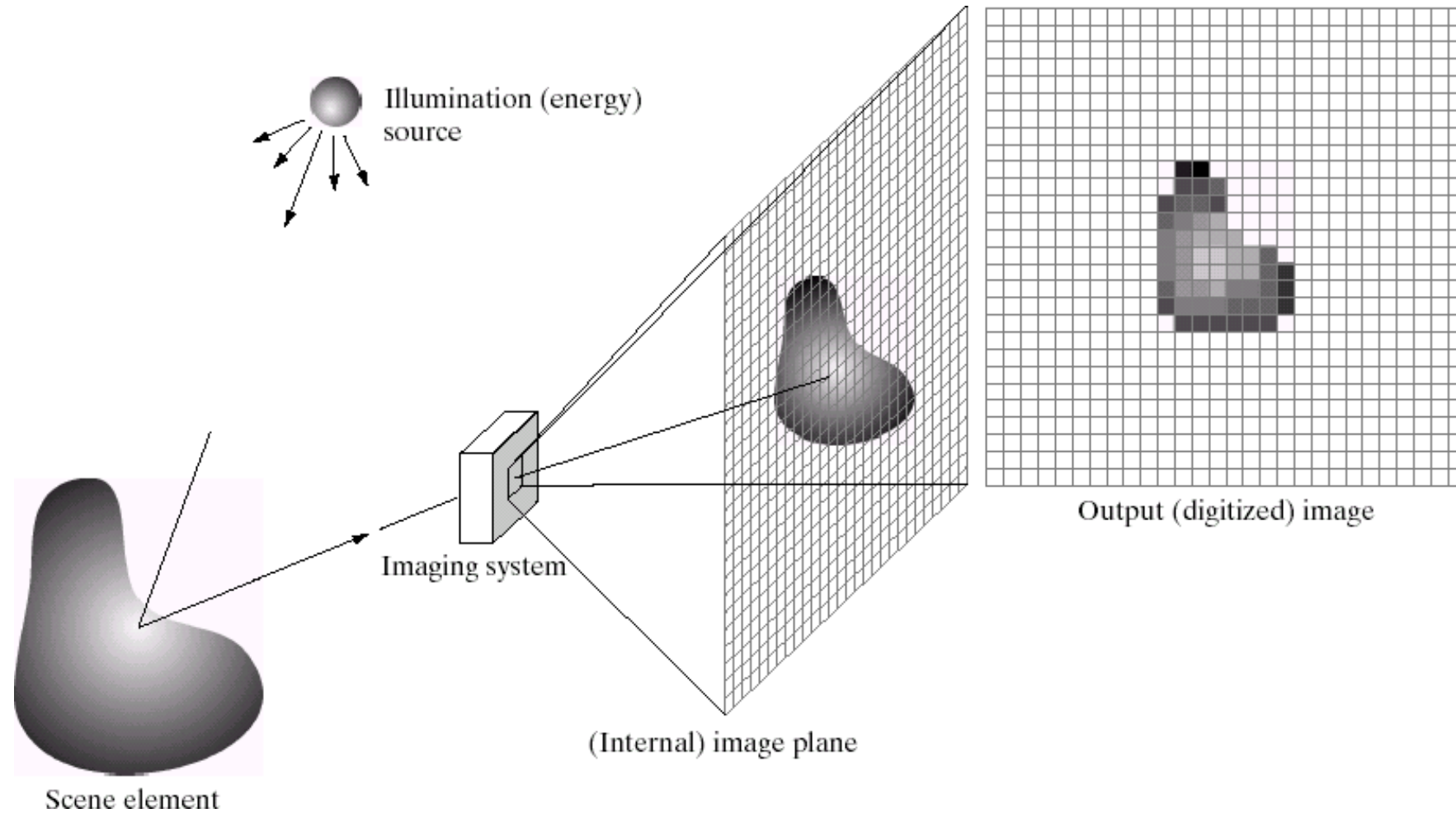


a b

FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

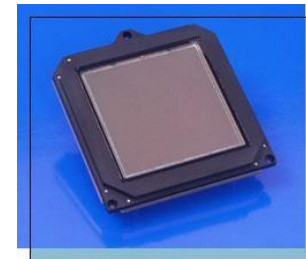
Sebuah citra digital adalah versi diskrit dari citra kontinu

Akuisisi Citra Menjadi Citra Digital



Digital cameras

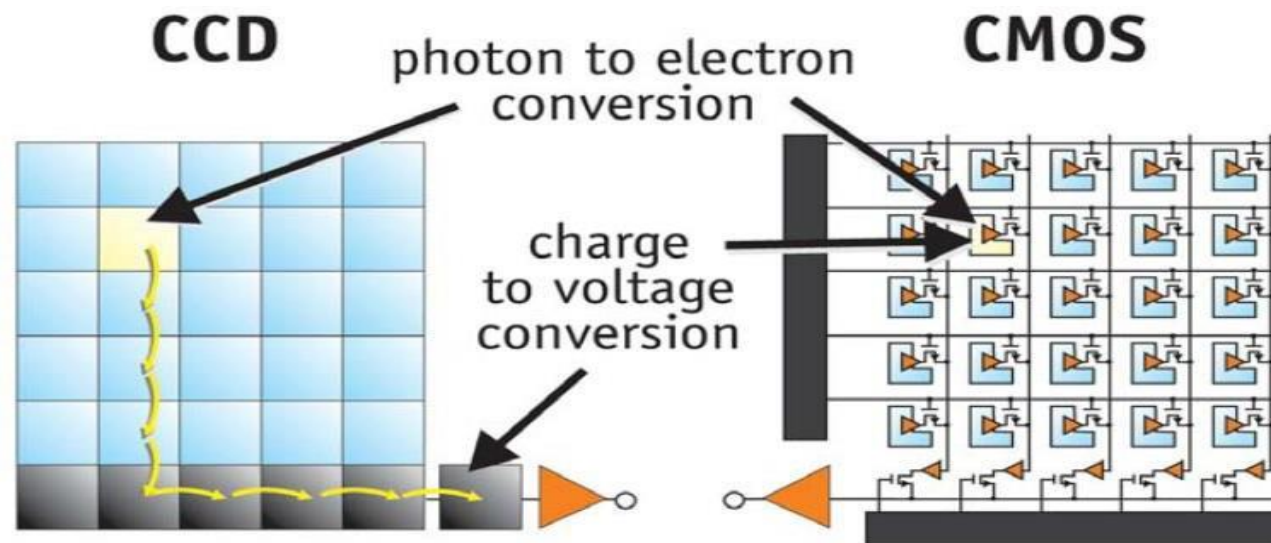
- A digital camera replaces film with a sensor array.
 - Each cell in the array is light-sensitive diode that converts **photons** to **electrons**
- Two common types
 - Charge Coupled Device (CCD)
 - Complementary metal oxide semiconductor (CMOS)



<http://electronics.howstuffworks.com/digital-camera.htm>

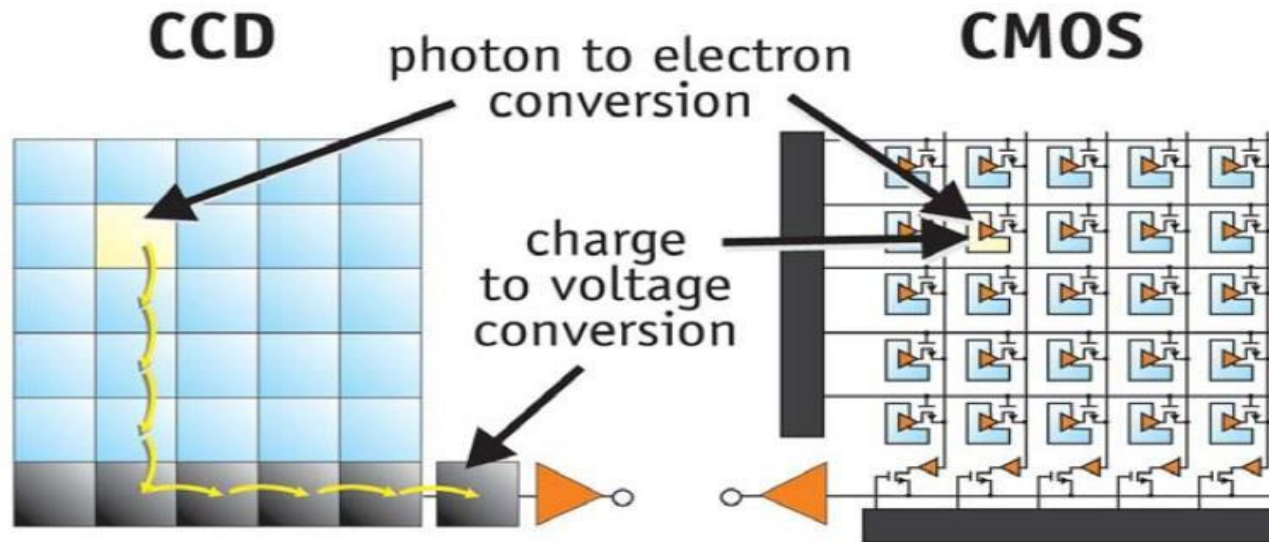
CCD Cameras

- CCDs move photogenerated charge from pixel to pixel and convert it to voltage at an output node.
- An **analog-to-digital converter (ADC)** then turns each pixel's value into a digital value.



CMOS Cameras

- CMOSs convert charge to voltage inside each element.
- Uses several transistors at each pixel to amplify and move the charge using more traditional wires.
- The CMOS signal is digital, so it needs no ADC.



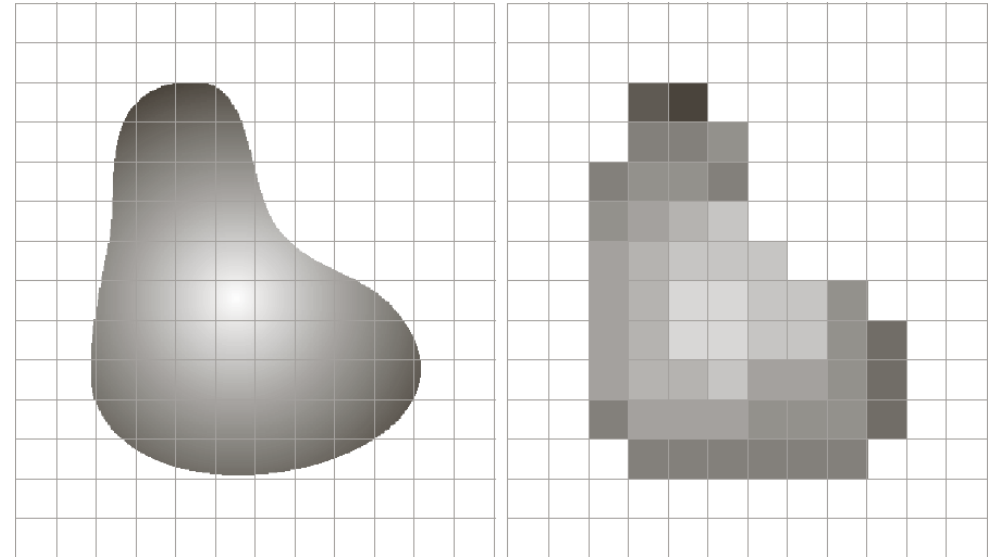
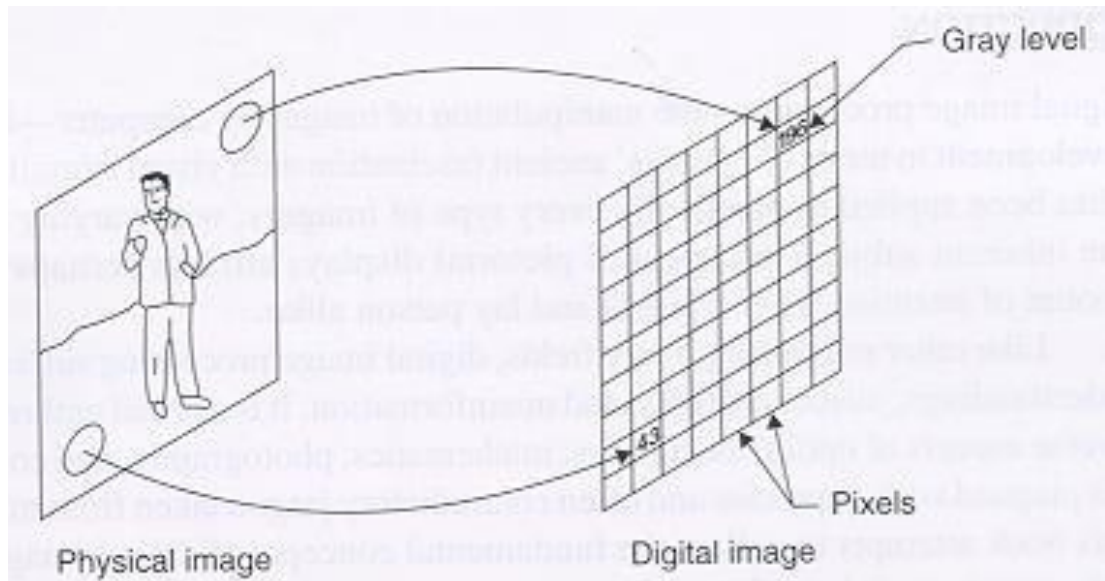
http://www.dalsa.com/shared/content/pdfs/CCD_vs_CMOS_Litwiller_2005.pdf

- Citra digital $f(x, y)$ direpresentasikan sebagai matriks berukuran $M \times N$

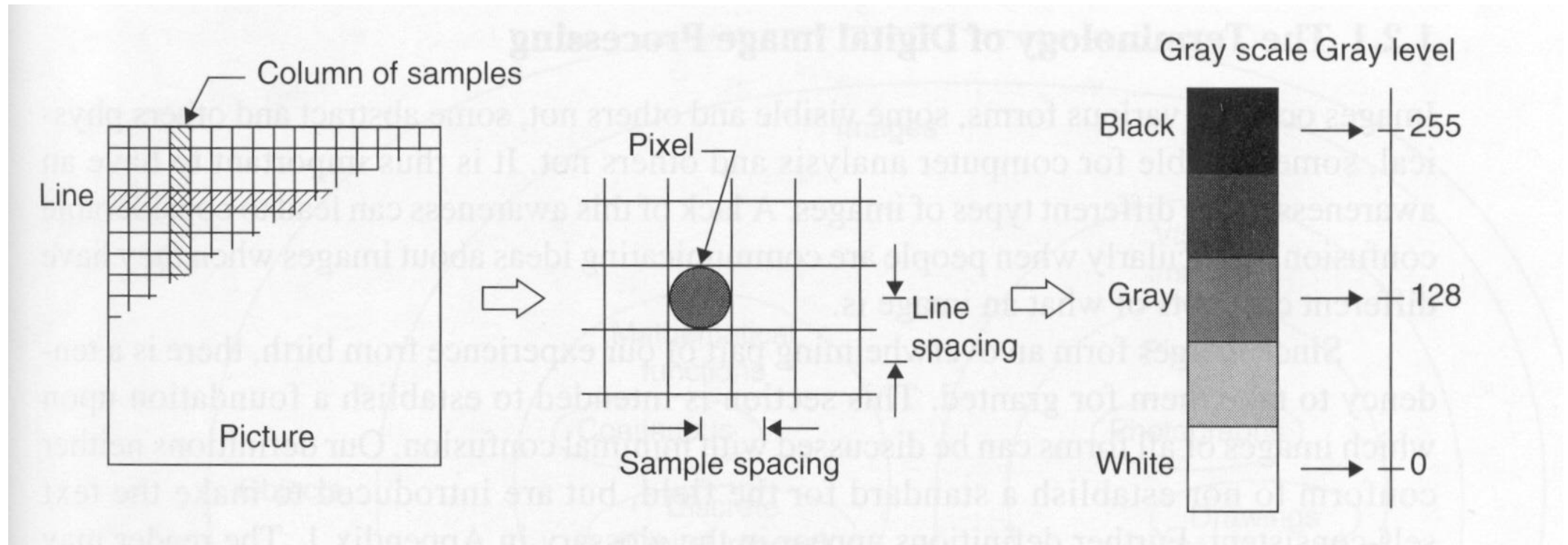
$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}$$

- $M \times N$ menyatakan resolusi citra, M baris dan N kolom
- Setiap elemen matriks menyatakan sebuah *pixel* (*picture element*)
- Nilai $f(i, j)$ menyatakan nilai intensitas *pixel* pada posisi (i, j) , yang dinamakan *graylevel* (derajat keabuan).

- Proses digitalisasi citra ada dua tahap:
 1. Penerokan (*sampling*): yaitu digitalisasi secara spasial (x, y).
 2. Kuantisasi: yaitu mengangakan nilai intensitas $f(x, y)$ menjadi *integer*.
- Kedua proses di atas berkaitan dengan *diskritisasi* tetapi dalam ranah berbeda



Proses digitalisasi citra

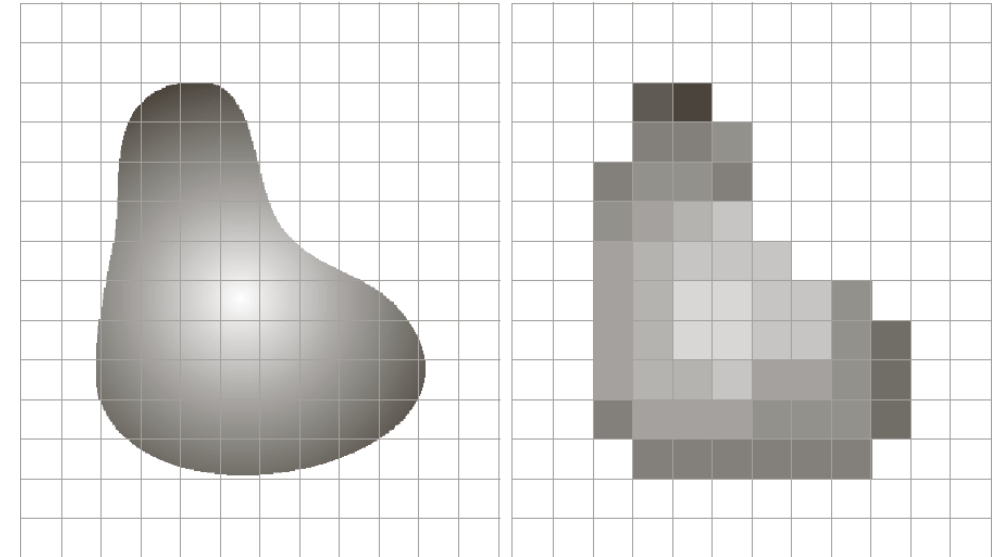
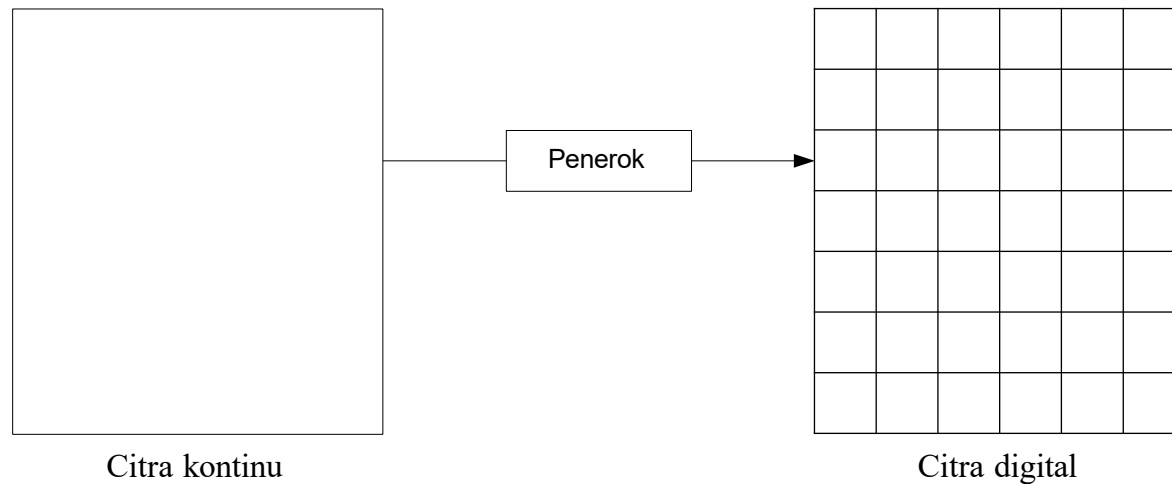


Penerokan

Kuantisasi

Penerokan (*sampling*)

- Citra kontinu diterok menjadi grid-grid yang berbentuk bujursangkar
- Penerokan bertujuan untuk menentukan seberapa banyak *pixel* yang diperlukan untuk merepresentasikan citra kontinu, dan bagaimana pengaturannya



- 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*,

512×1024 *pixel*

dst

Contoh penerokan:

original image, $n = 8$ (256 x 256)



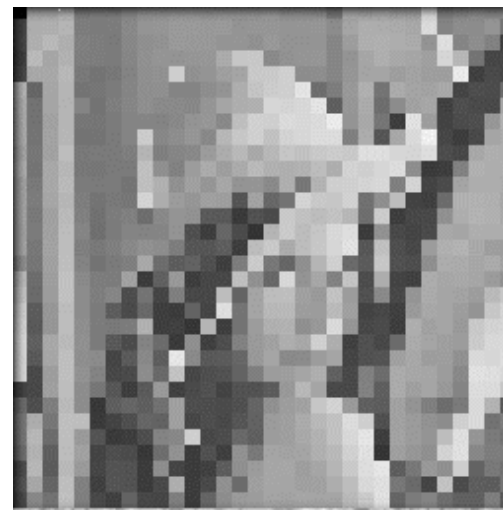
$n = 7$ (128 x 128)



$n = 6$ (64 x 64)



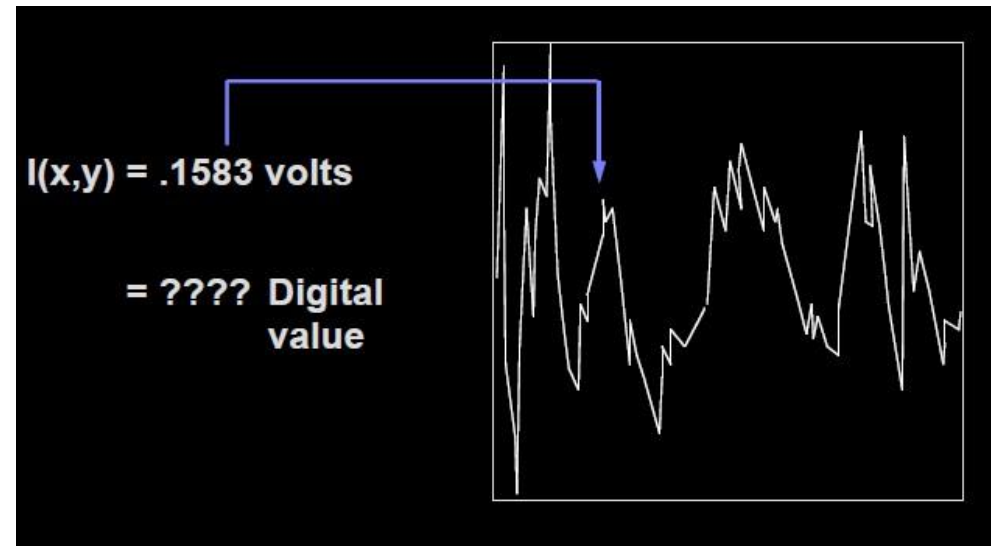
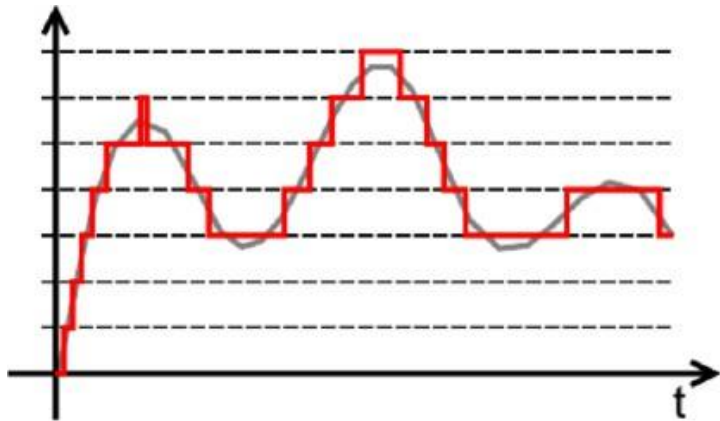
$n = 5$ (32 x 32)



Catatan: Citra telah
disamakan ukurannya
untuk perbandingan

Kuantisasi

- Kuantisasi berkaitan dengan diskritisasi nilai intensitas cahaya pada koordinat (x, y).
- Tujuan kuantisasi adalah memetakan nilai dari sinyal kontinu menjadi K buah nilai diskrit (K buah level)
- Beberapa teknik kuantisasi: *uniform mapping*, *logarithmic mapping*, dll



- Nilai intensitas *pixel* dalam *integer* dinyatakan dalam selang $[0, K - 1]$.
- Selang $[0, K - 1]$ disebut skala keabuan (*graylevel*)
- Proses kuantisasi membagi skala keabuan $[0, K - 1]$ menjadi K buah nilai, yaitu $0, 1, 2, \dots, K - 1$.
- Biasanya K diambil perpangkatan dari 2,

$$K = 2^m$$

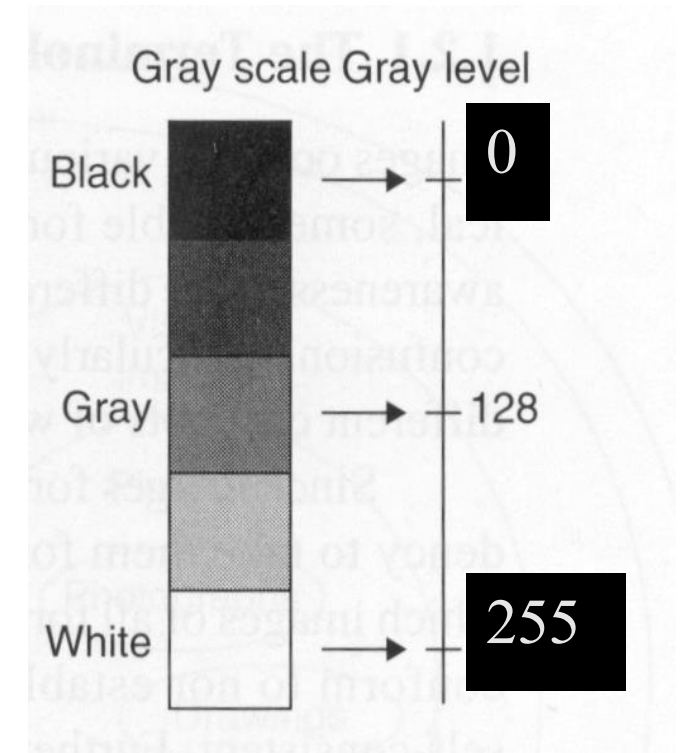
yang dalam hal ini,

K = skala keabuan

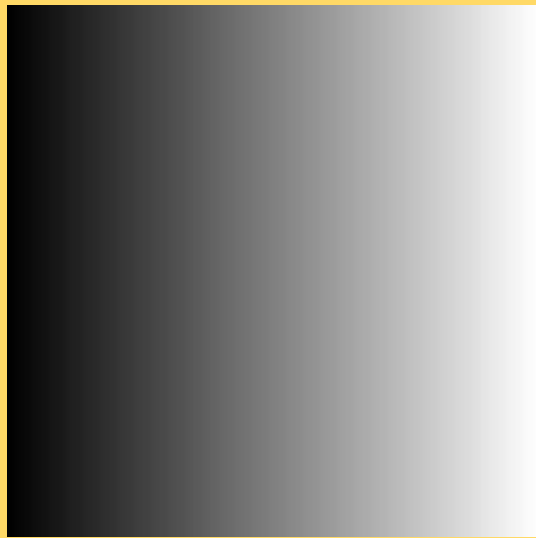
m = bilangan bulat positif

$$K = 2^m$$

Skala keabuan	Rentang nilai keabuan	Pixel depth
2^1 (2 nilai)	0, 1	1 bit
2^2 (4 nilai)	0, 1, 2, 3	2 bit
2^3 (8 nilai)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	3 bit
2^4 (16 nilai)	0, 1, ..., 15	4 bit
2^8 (256 nilai)	0, 1, ..., 255	8 bit



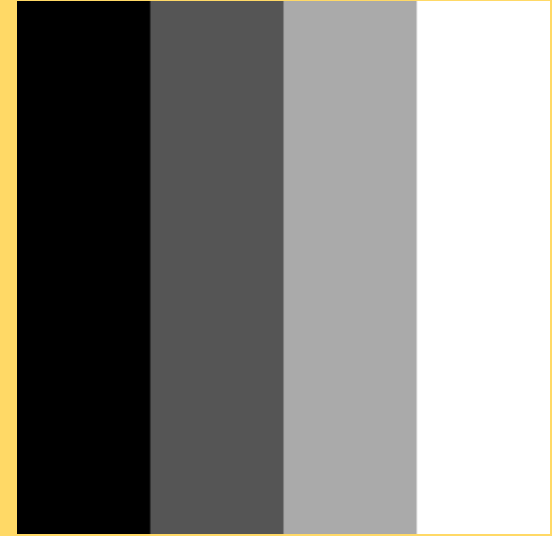
Pemilihan K



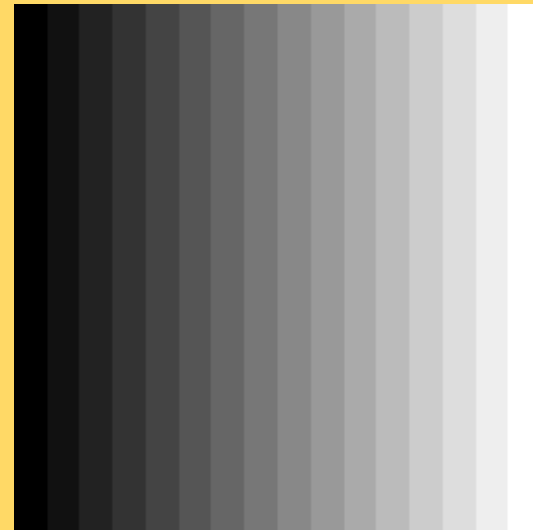
Original image



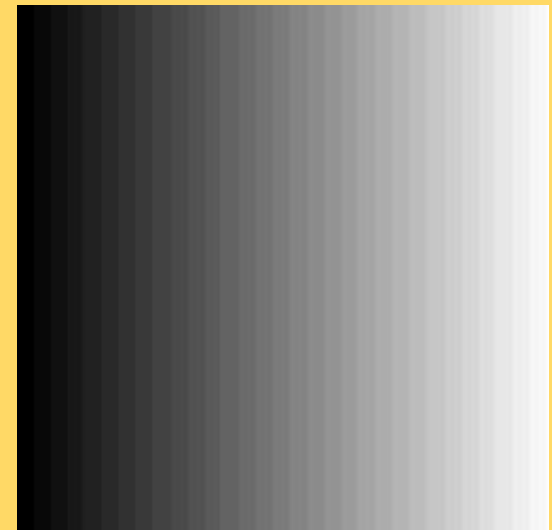
$K = 2$ graylevel



$K = 4$ graylevel



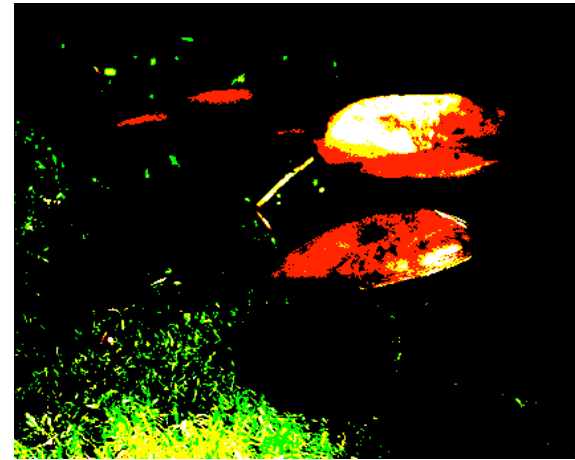
$K = 16$ graylevel



$K = 32$ graylevel



Original image



$K = 2$ graylevel (untuk tiap komponen warna)



$K = 4$ graylevel (untuk tiap komponen warna)

256 gray levels (8bits/pixel)



32 gray levels (5 bits/pixel)



16 gray levels (4 bits/pixel)



- 8 gray levels (3 bits/pixel)



4 gray levels (2 bits/pixel)



2 gray levels (1 bit/pixel)





(a) 256 level



(b) 128 level

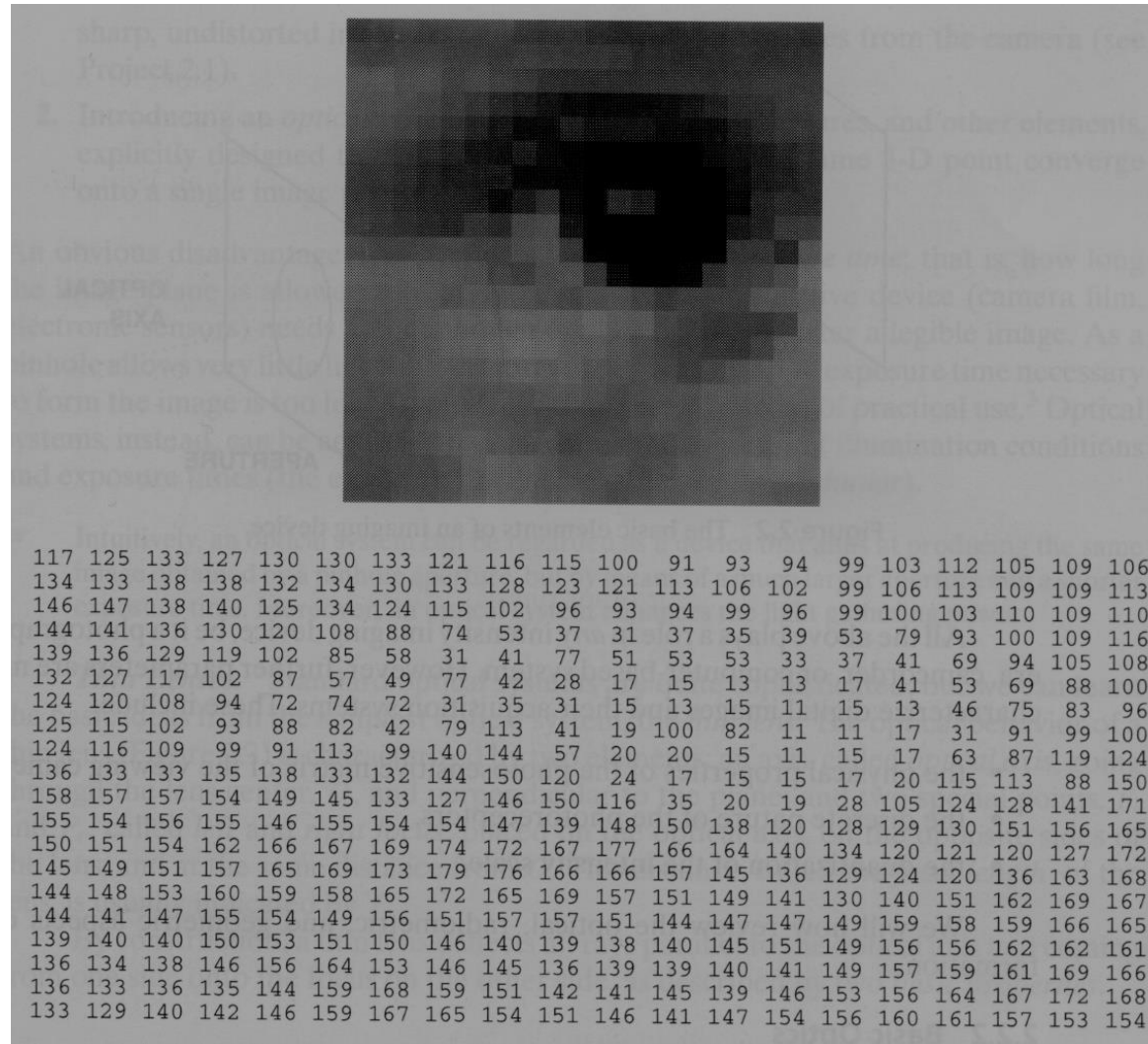
Citra Lena yang dikuantisasi ke dalam 256 level dan 128 level keabuan

1 pixel = 8 bit = 256 graylevel → 0 sampai 255



127	127	129	124	127	133	131	133	127
130	133	128	128	130	130	127	128	137
128	125	130	129	127	130	127	123	130
129	132	130	128	126	131	129	131	130
124	130	129	127	122	128	131	129	131
123	127	129	128	129	130	127	131	132

1 pixel = 8 bit = 256 graylevel → 0 sampai 255



Penurunan mutu citra karena kuantisasi keabuan

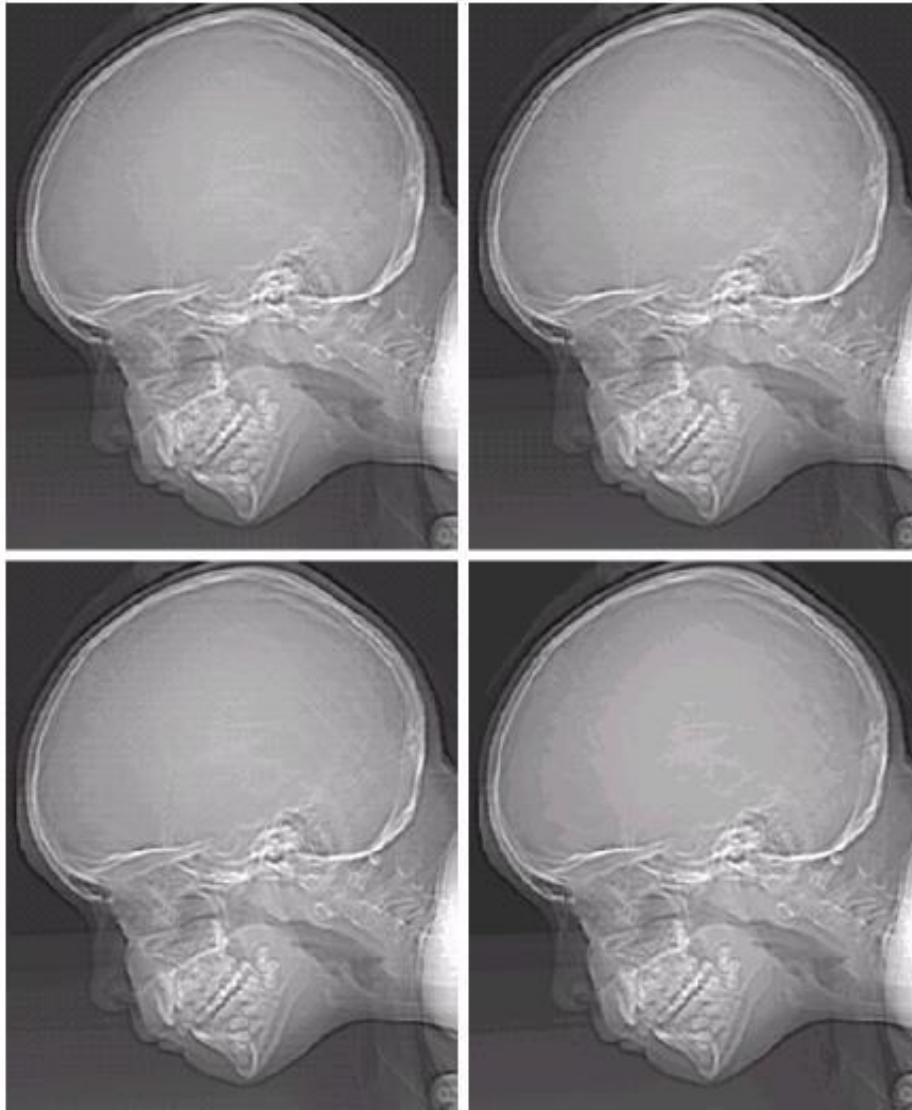
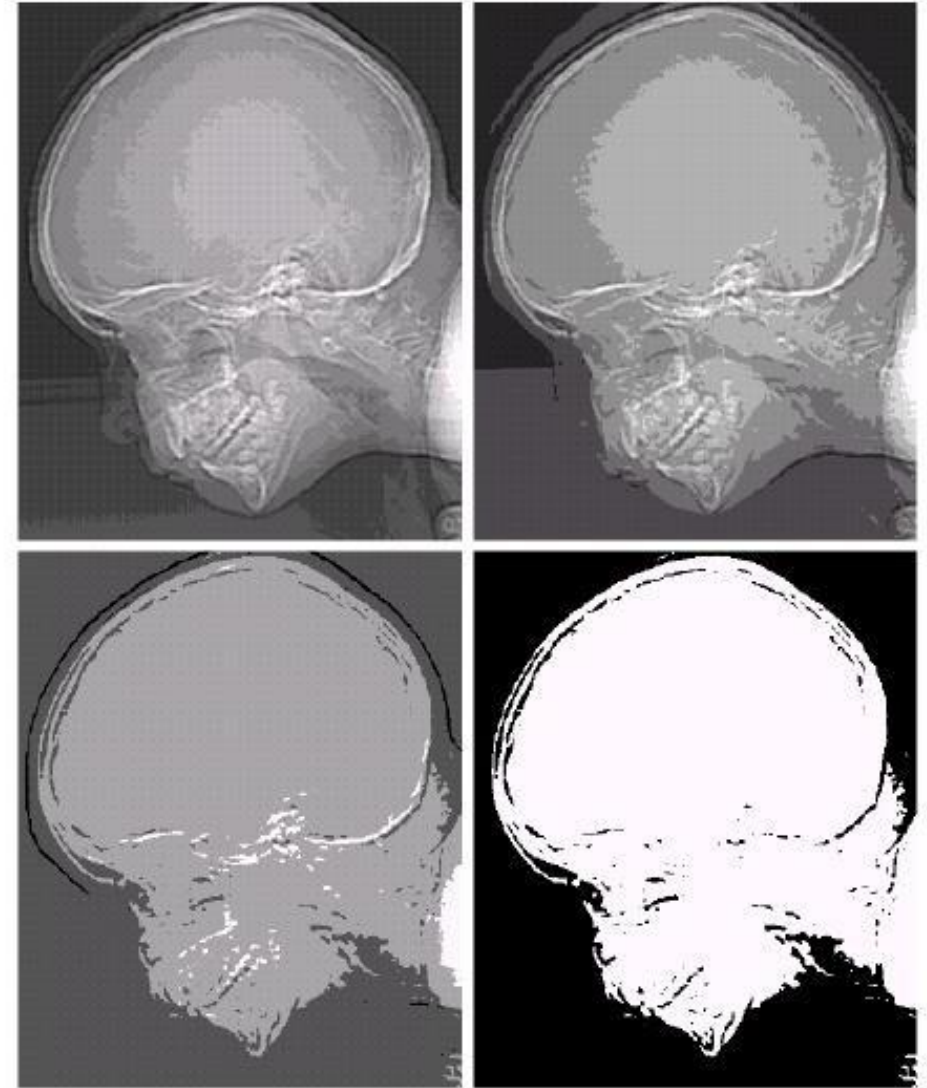


FIGURE 2.21
(a) 452 × 374,
256-level image.
(b)–(d) Image
displayed in 128,
64, and 32 gray
levels, while
keeping the
spatial resolution
constant.

FIGURE 2.21
(Continued)
(e)–(h) Image
displayed in 16, 8,
4, and 2 gray
levels. (Original
courtesy of
Dr. David
R. Pickens,
Department of
Radiology &
Radiological
Sciences,
Vanderbilt
University
Medical Center.)



Proses digitalisasi citra secara keseluruhan

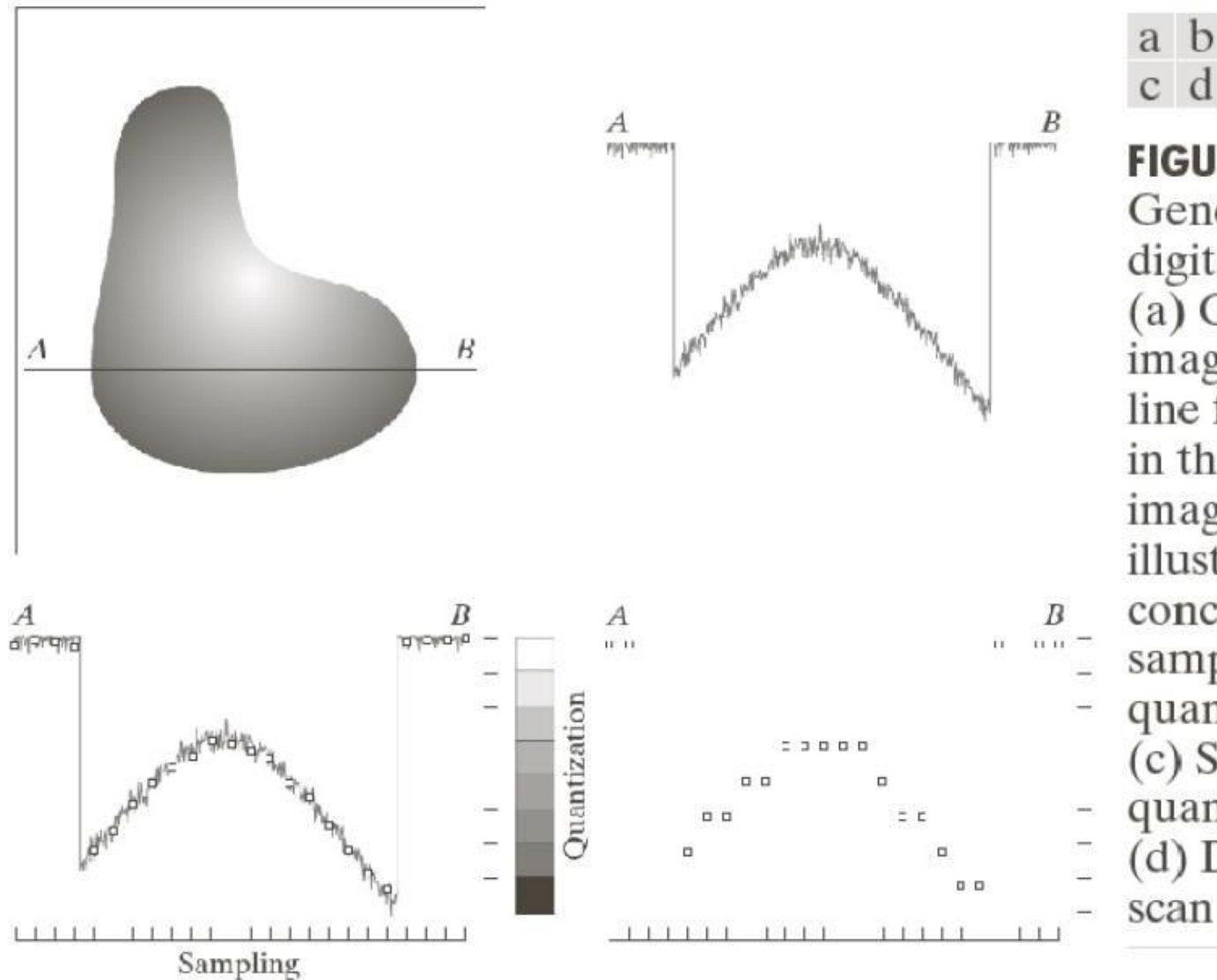
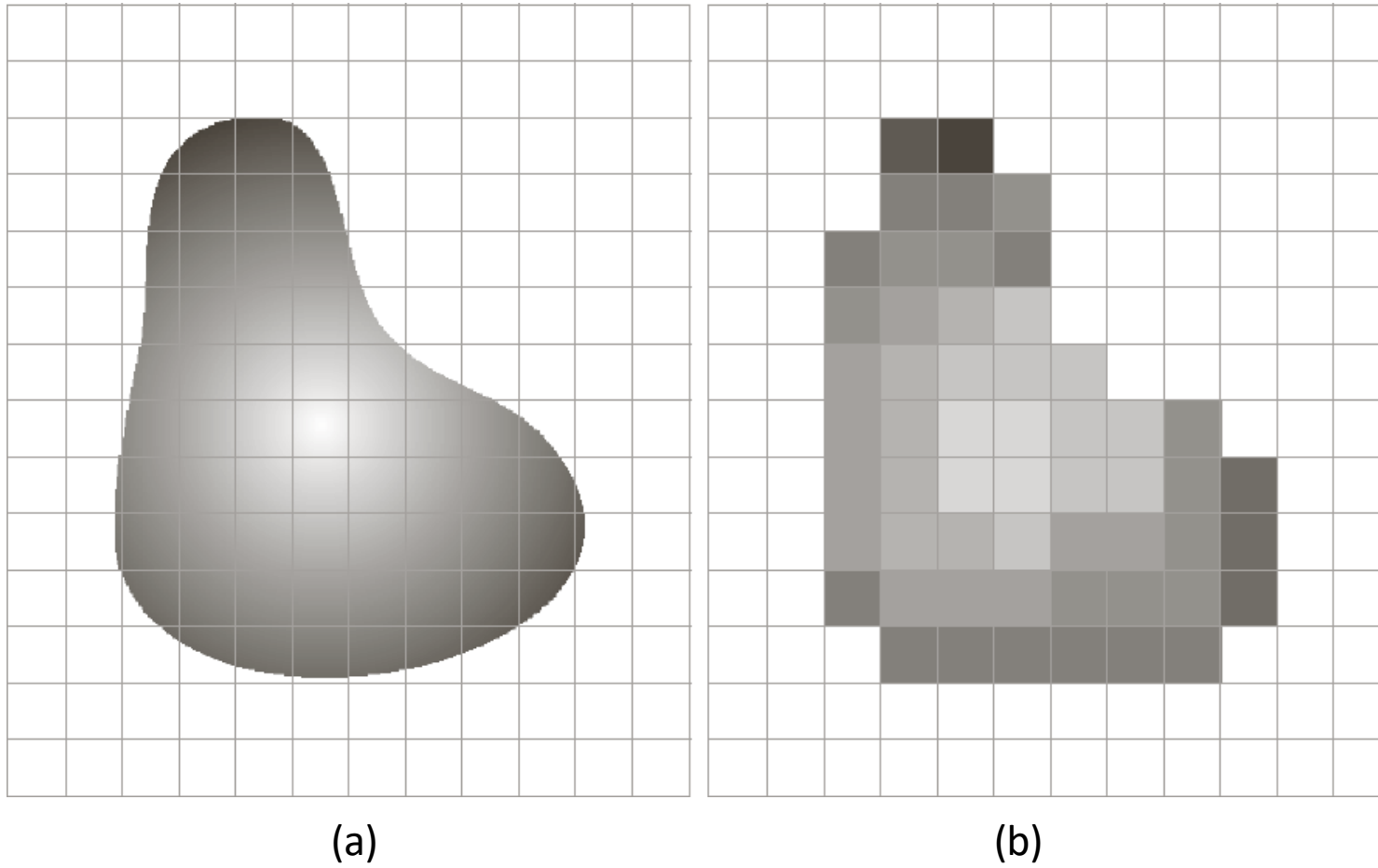


FIGURE 2.16
Generating a digital image. (a) Continuous image. (b) A scan line from A to B in the continuous image, used to illustrate the concepts of sampling and quantization. (c) Sampling and quantization. (d) Digital scan line.



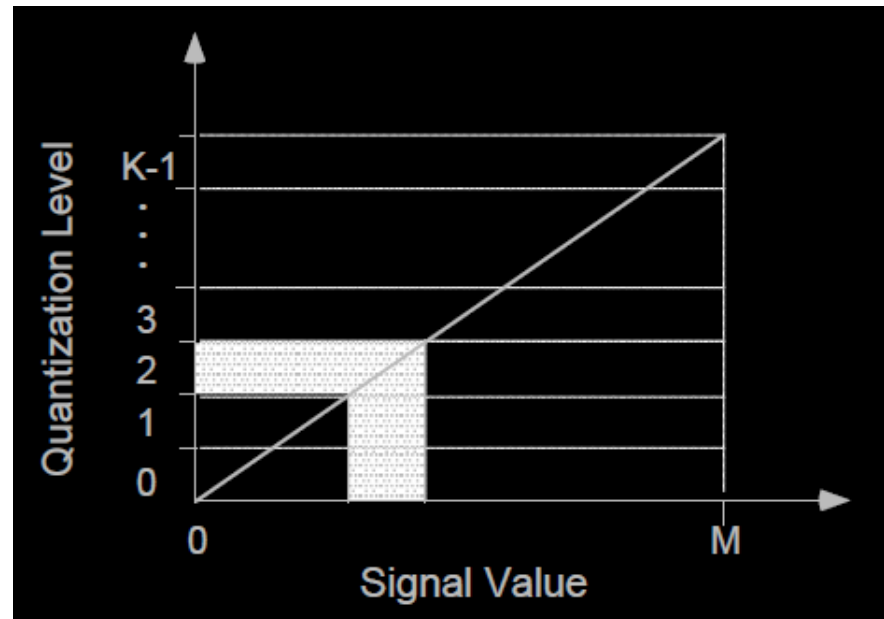
(a) Citra kontinu diproyeksikan ke array sensor. (b) Citra hasil penerokan dan kuantisasi

Beberapa Teknik Kuantisasi

1. *Uniform mapping*
2. *Logarithmic mapping*

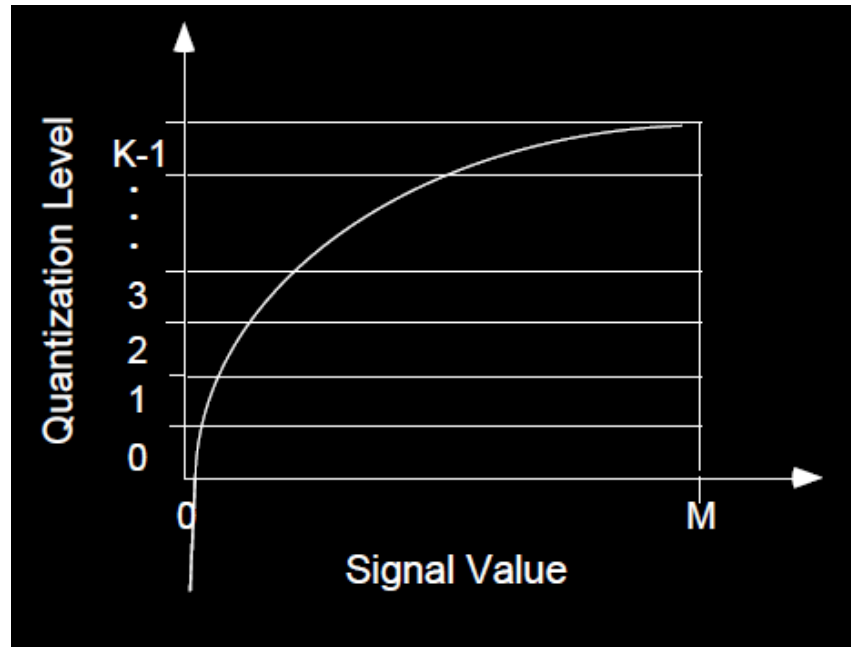
1. Uniform Mapping

- *Uniform mapping* membagi sinyal di dalam selang $[0, M]$ menjadi K buah upa-selang (*sub-interval*) yang berjarak sama
- Selanjutnya, nilai-nilai *integer* $0, 1, 2, \dots, K - 1$ *di-assign* ke setiap upa-selang
- Semua nilai sinyal di dalam selang $[0, M]$ dinyatakan dalam nilai *integer* yang diasosiasikan.



2. Logarithmic mapping

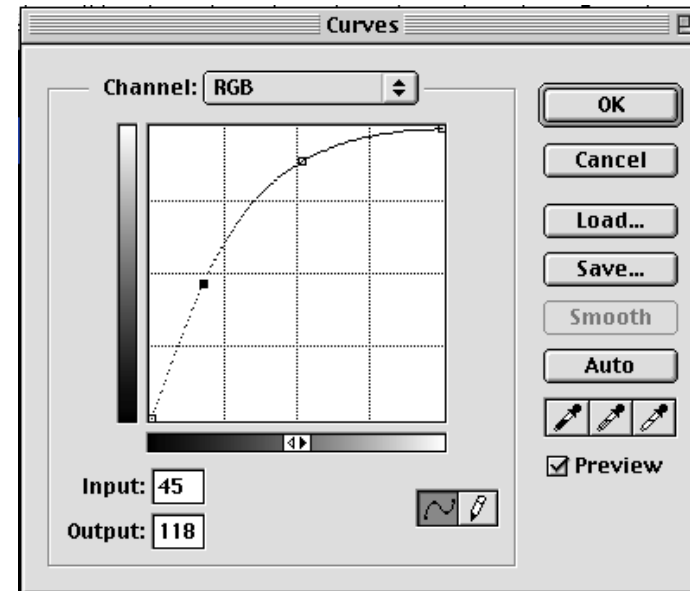
- Sinyal $f(x, y)$ dinyatakan dalam $\log f(x, y)$
- Efeknya sbb:



- Akibatnya, sinyal bernilai rendah ditingkatkan kualitas nilainya



Original image

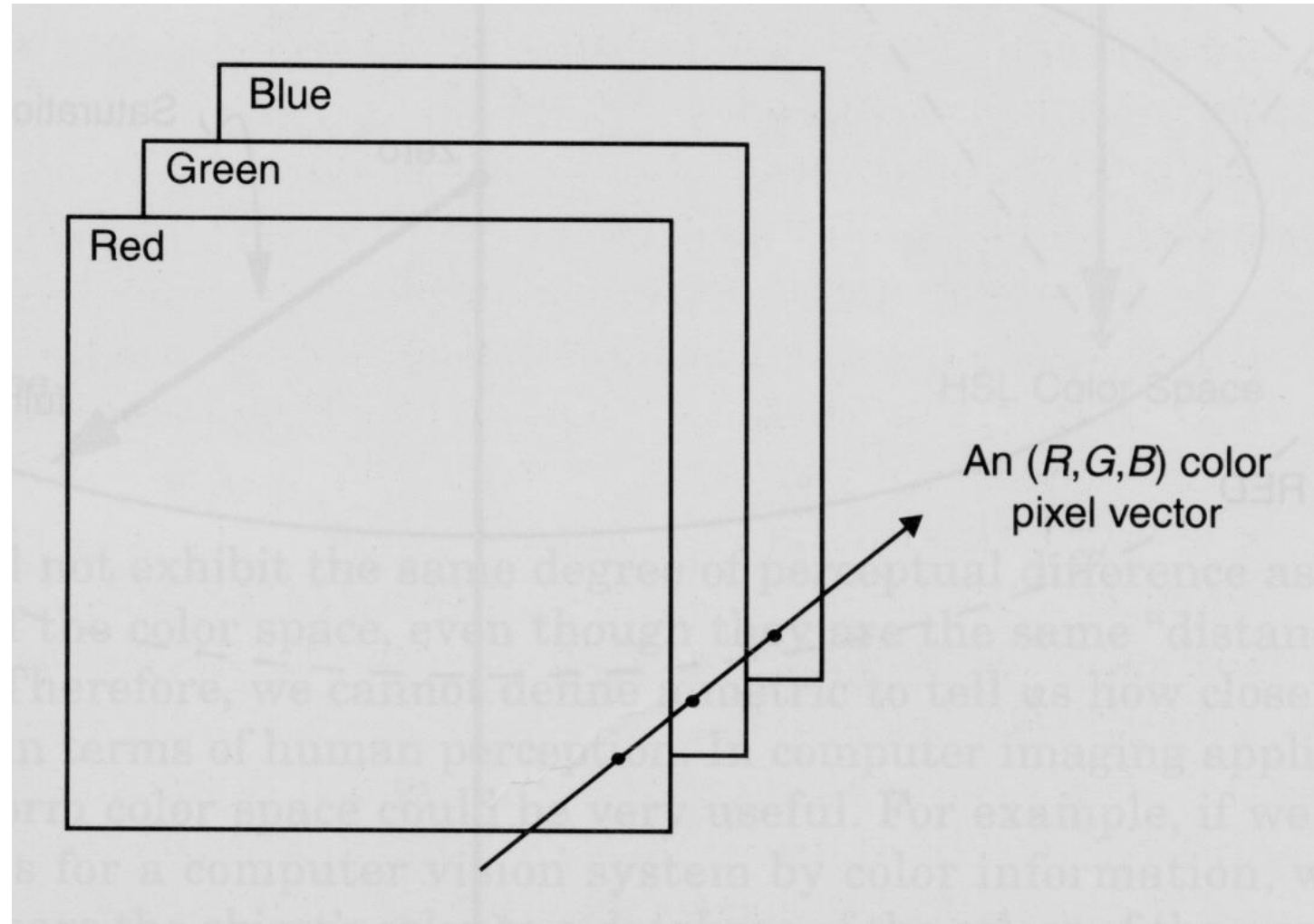


Kurva kuantisasi



Hasil kuantisasi logaritmik

- Umumnya 256 level (8 *bit/pixel*) sudah cukup untuk merepresentasikan nilai intensitas pixel.
- Jika citra digital berukuran $M \times N$ dan setiap *pixel* kedalamannya b bit, maka kebutuhan memori untuk mereresentasikan citra adalah
$$M \times N \times b \text{ bit}$$
- Untuk citra berwarna, 256 level digunakan untuk setiap warna.
- Citra berwarna terdiri dari tiga kanal warna: – red, green, and, blue – Kombinasi ketiga warna menghasilkan persepsi warna-warna yang kita lihat.





=



Red



Green



Blue



Red

148	162	175	182	189	194	195	193	195	195	197
148	164	174	176	185	189	191	191	196	194	195
144	159	167	176	178	185	188	191	196	194	197
128	147	157	168	173	179	182	184	191	191	192
119	134	148	160	164	170	179	176	181	189	185
145	124	142	151	160	168	169	174	180	182	183
172	120	140	153	157	169	171	178	180	182	182
196	120	129	144	152	158	167	170	177	176	178
204	144	116	134	142	149	155	165	165	170	171

Green

42	43	48	50	53	56	56	53	54	54	54
50	49	51	47	53	55	56	55	59	55	54
51	48	47	49	49	51	50	52	54	51	54
53	48	45	49	50	52	50	48	51	50	50
59	43	43	48	47	48	54	47	49	55	50
100	42	41	42	44	46	45	46	50	52	50
142	47	43	42	39	46	44	48	49	51	49
185	65	44	42	42	43	48	46	50	48	49
209	106	44	42	41	42	44	50	48	50	49

Blue

16	24	32	35	37	40	40	37	37	38	36
19	25	31	28	34	37	38	37	40	35	33
17	23	27	33	32	35	33	36	39	35	37
20	19	23	31	33	34	34	32	36	35	35
29	16	24	33	32	34	39	30	31	38	34
71	11	18	24	30	33	30	30	34	36	34
113	14	16	21	24	32	30	32	33	35	33
156	32	13	20	25	28	33	31	35	33	32
177	72	9	16	22	26	30	35	32	33	32

Kode program Matlab untuk dekomposisi R, G, B dari citra berwarna

```
function fig = imColorSep(A)
% IMCOLORSEP Displays the RGB decomposition of a full-color image
%
% Syntax: fig = imColorSep(A);
%
% Example: A = imread('peppers.png');
% fig = imColorSep(A);
%
% Written by: Rick Rosson, 2007 December 26
%
% Revised: Rick Rosson, 2008 January 2
%
% Copyright (c) 2007-08 Richard D. Rosson. All rights reserved.
%
% Number of gray scale values:
N = 256;
% Make sure data type of image array is 'uint8':
A = im2uint8(A);
% Create figure window:
fig = figure;
% Display full color image:
subplot(2,2,1);
imshow(A);
title('Full Color');

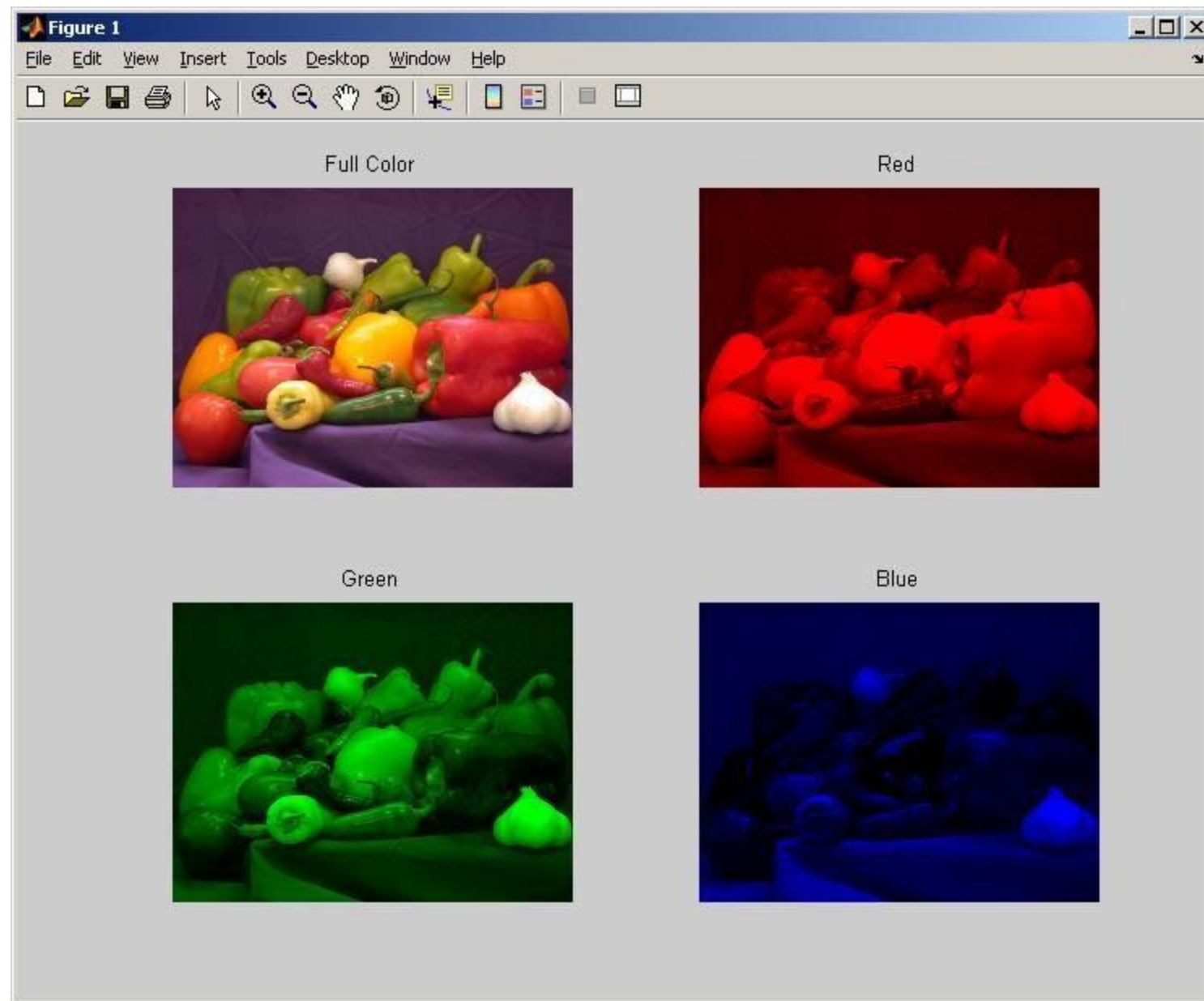
% Cell array of color names:
ColorList = { 'Red' 'Green' 'Blue' };

% Gray-scale column vector: % range [ 0 .. 1 ]
gr = 0:1/(N-1):1; % increment 1/(N-1)

% Display each of the three color components:
for k = 1:3
    % color map:
    cMap = zeros(N,3);
    cMap(:,k) = gr;

    % Display monochromatic image:
    subplot(2,2,k+1);
    imshow(ind2rgb(A(:,:,k),cMap));
    title(ColorList{k});
end
end
```

Sumber: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/18125-rgb-image-decomposition>



Secara umum dikenal 3 jenis citra digital:

1. **Citra biner** (1 *pixel* = 1 bit)

Graylevel hanya 0 dan 1 (hitam dan putih)

2. **Citra grayscale** (1 *pixel* umumnya 8 bit)

Graylevel dari 0 sampai 255 (hitam ke putih)

3. **Citra berwarna** (24-bit RGB)

Terdiri dari tiga kanal warna: *red* (R), *green* (G), dan *blue*(B)

Graylevel pada setiap kanal warna panjangnya 8 bit



Color image (24-bit RGB)



Grayscale image (8-bit)



Binary image (1-bit)

Resolusi

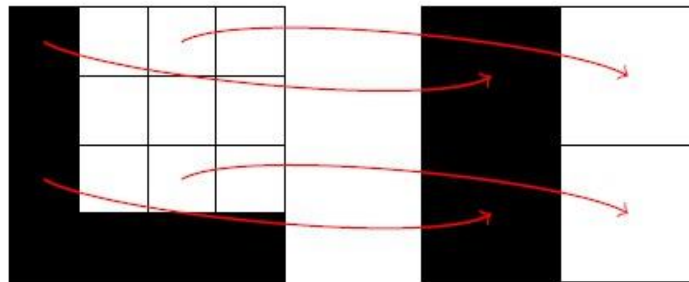
- Citra digital merupakan hasil diskritisasi citra kontinu, baik penerokan dalam ranah ranah spasial maupun kuantisasi dalam ranah nilai intensitas (intensitas).
- Oleh karena itu, istilah resolusi valid untuk setiap ranah, meskipun resolusi sering diacu dalam penerokan secara spasial.
- Resolusi berkaitan dengan detil dari citra, yaitu seberapa banyak pixel yang ditampilkan pada setiap inchi citra. Semakin tinggi resolusi citra semakin banyak pixel per inchi (PPI) dan menghasilkan citra berkualitas tinggi.
- Resolusi sering dinyatakan dalam ukuran citra (lebar x tinggi)
- Sebagai contoh, citra yang lebarnya 2048 pixel dan tinggi 1536 pixel (2048 x 1536) mengandung 3.145.728 pixels (atau 3.1 Megapixel).



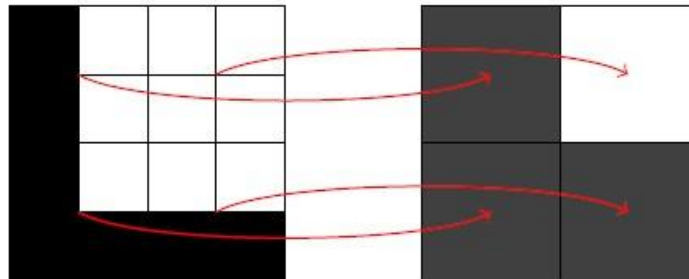
FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.

- Resolusi yang rendah seringkali terjadi akibat reduksi pada proses penerokan.
- Dua kemungkinan penyebab reduksi pada resolusi penerokan: (1) pengambilan terokan (*downsampling*), dan (2) penipisan (*decimation*)

► Downsampling



► Decimation



- Untuk meningkatkan resolusi akibat peneroran, maka perbaikan yang dilakukan adalah dengan melakukan interpolasi
- Metode interpolasi yang umum digunakan:
 1. *Nearest neighbor*
 2. *Bilinear interpolation*
 3. *Bicubic interpolation*

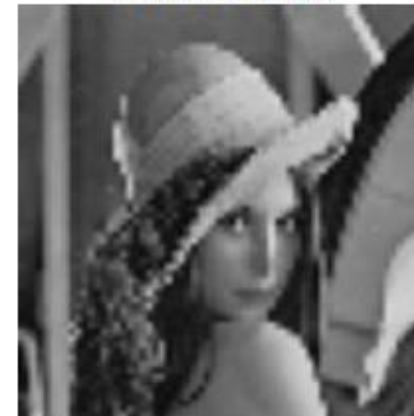
Downsampled



Nearest



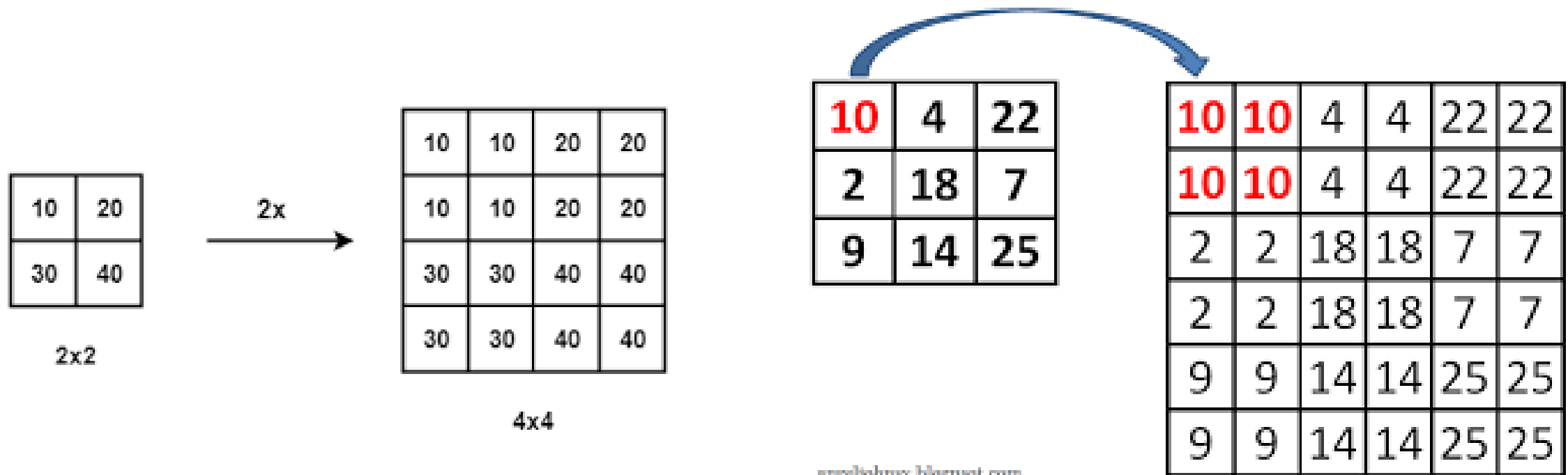
Bilinear



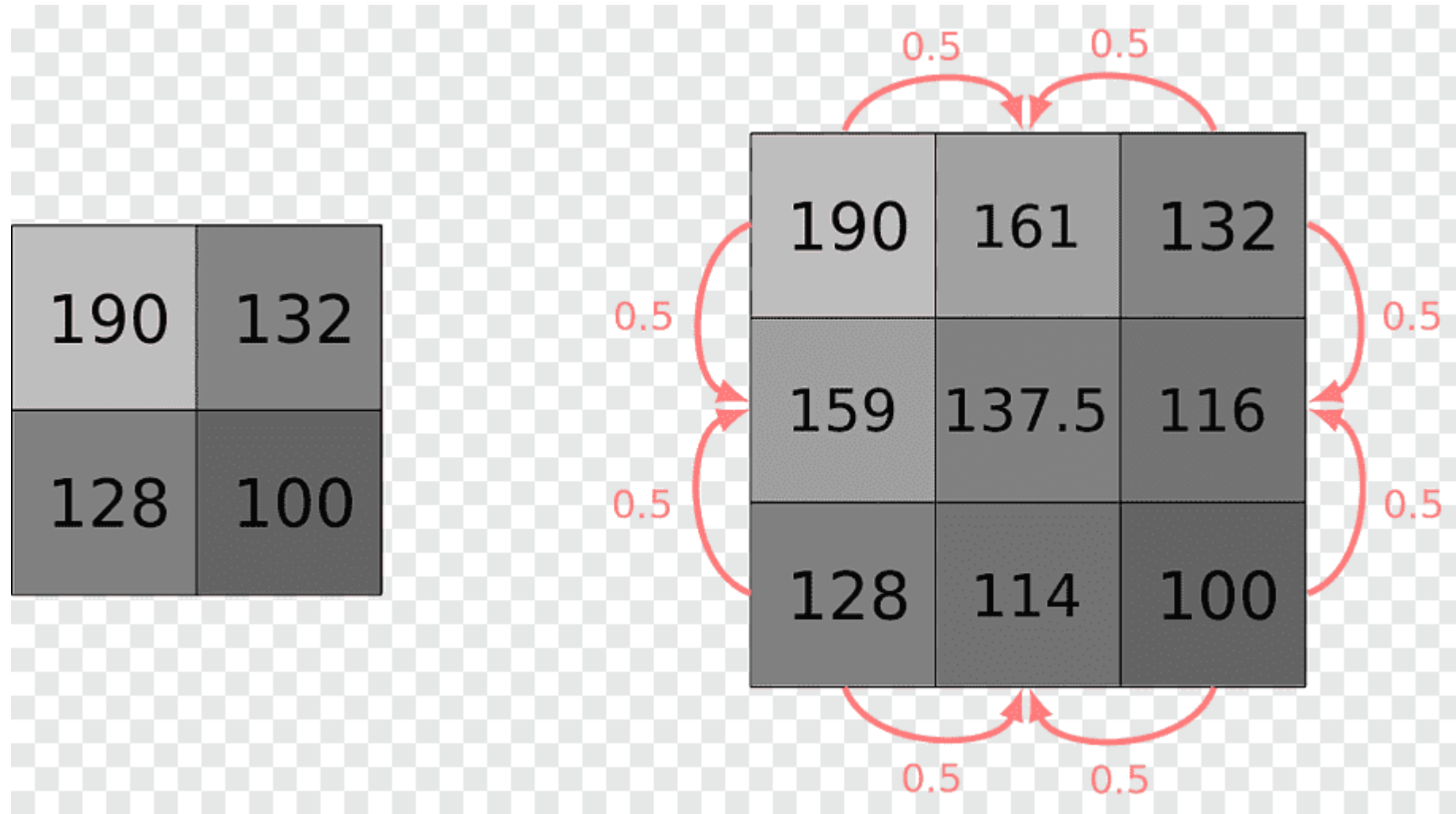
Bicubic



Nearest Neighbor Interpolation

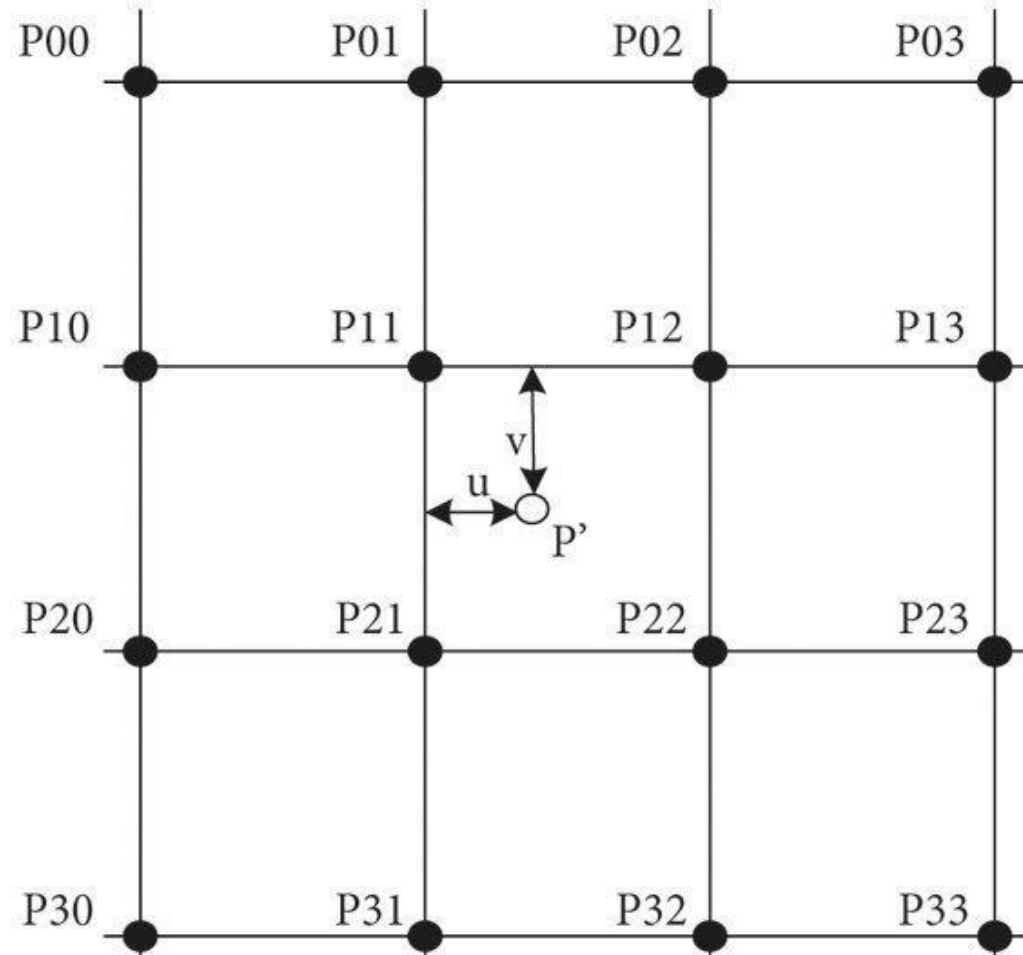


Bilinear Interpolation



Menggunakan empat pixel bertetangga

Bicubic Interpolation



Menggunakan 16 pixel bertetangga

Lebih lanjut tentang interpolasi citra akan dibahas dalam pokok bahasan tersendiri

Referensi

1. Dr. George Bebis, *Image Formation and Representation*, CS485/685
Computer Vision
2. Antonio, R. C., Paiva, *Image representation, sampling, and quantization*,
ECE 6962 – Fall 2010
3. Unknown, *Introduction to Computer Vision, Digitization*
4. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*,
Prentice Hall