

Digitalisasi Citra

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

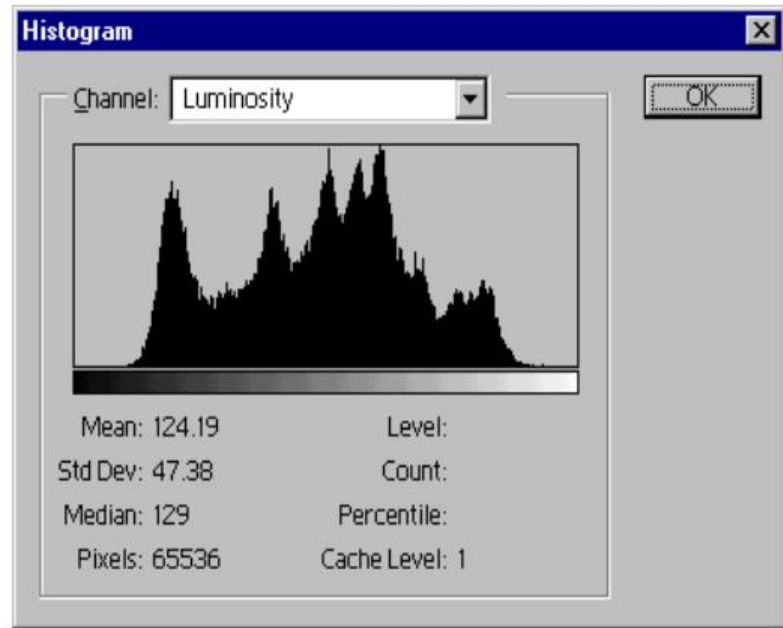
$f(x, y)$: intensitas cahaya (*brightness*)
pada titik (x, y)



Sejarah Citra Lena



- **Lenna** atau **Lena** adalah nama citra uji standard yang digunakan secara luas di dalam bidang pengolahan citra sejak tahun 1973.
- Lena adalah citra seorang model Swedia bernama Lena Söderberg, yang dipotong dari majalah *Playboy*.
- Foto Lena dari majalah tersebut dipindai oleh Alexander Sawchuk, dia memerlukan foto wajah untuk ditampilkan di dalam sebuah artikel ilmiahnya di sebuah konferensi IEEE.
- Alasan penggunaan citra Lena sebagai citra uji adalah karena citra ini memiliki detail yang bagus, tekstur, dan bayangan, tetapi yang paling penting adalah nilai-nilai *pixel*-nya tersebar secara merata (histogram).
- Tidak dipungkiri juga alasan karena ia seorang wanita cantik, seorang model, dan seorang artis.



Lena saat ini:

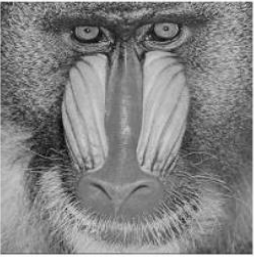
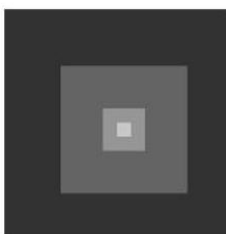
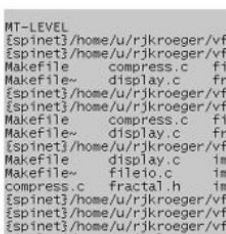
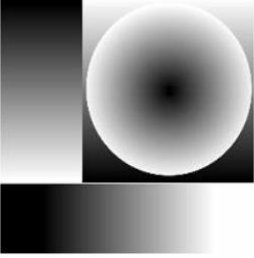


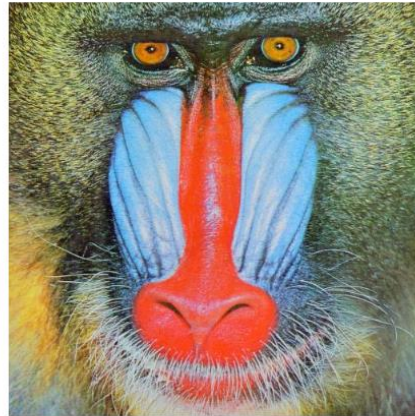
I discovered that the last time she'd appeared in public was in 2015, as a "special guest" at an image processing industry conference in Quebec City.

"I'm just surprised that it never ends," Forsen says about her unusual fame.

Sumber: <https://www.wired.com/story/finding-lena-the-patron-saint-of-jpegs/>

Citra Uji Standard

					
Lena, 256 × 256	Peppers 512 × 512	Zelda 512 × 512	San Francisco 256 × 256	Collie 256 × 256	Circle 256 × 256
					
Bird 256 × 256	Camera 256 × 256	Mandrill 512 × 512	Squares 256 × 256	Text 256 × 256	Mountain 640 × 480
					
Barbara 512 × 512	Boat 512 × 512	Slope 256 × 256	Goldhill 512 × 512	Eltoro 512 × 512	Girl 256 × 256



Citra uji lainnya:



Empat citra populer dalam bidang *image processing*

Koleksi standar citra uji lainnya:

- The USC-SIPI Image Database

<https://sipi.usc.edu/database/>

- Computer vision test images

<https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/cil/ftp/html/v-images.html>

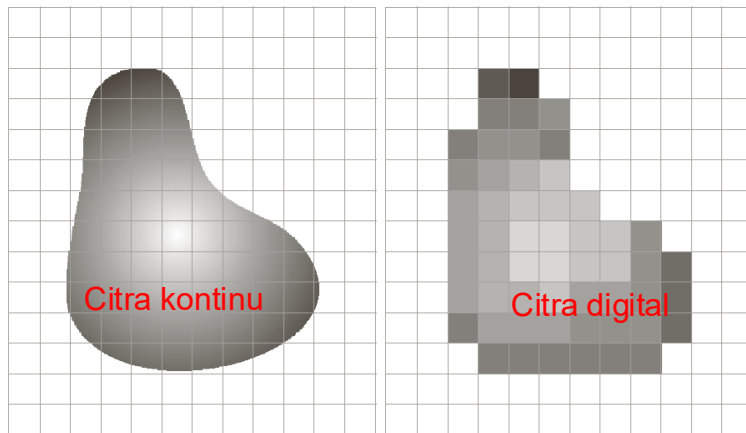
- TESTIMAGES

<https://testimages.org/>

Digitalisasi Citra

→ proses mengubah citra kontinu (analog) menjadi bentuk digital yang terdiskritisasi dalam bentuk piksel

- 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

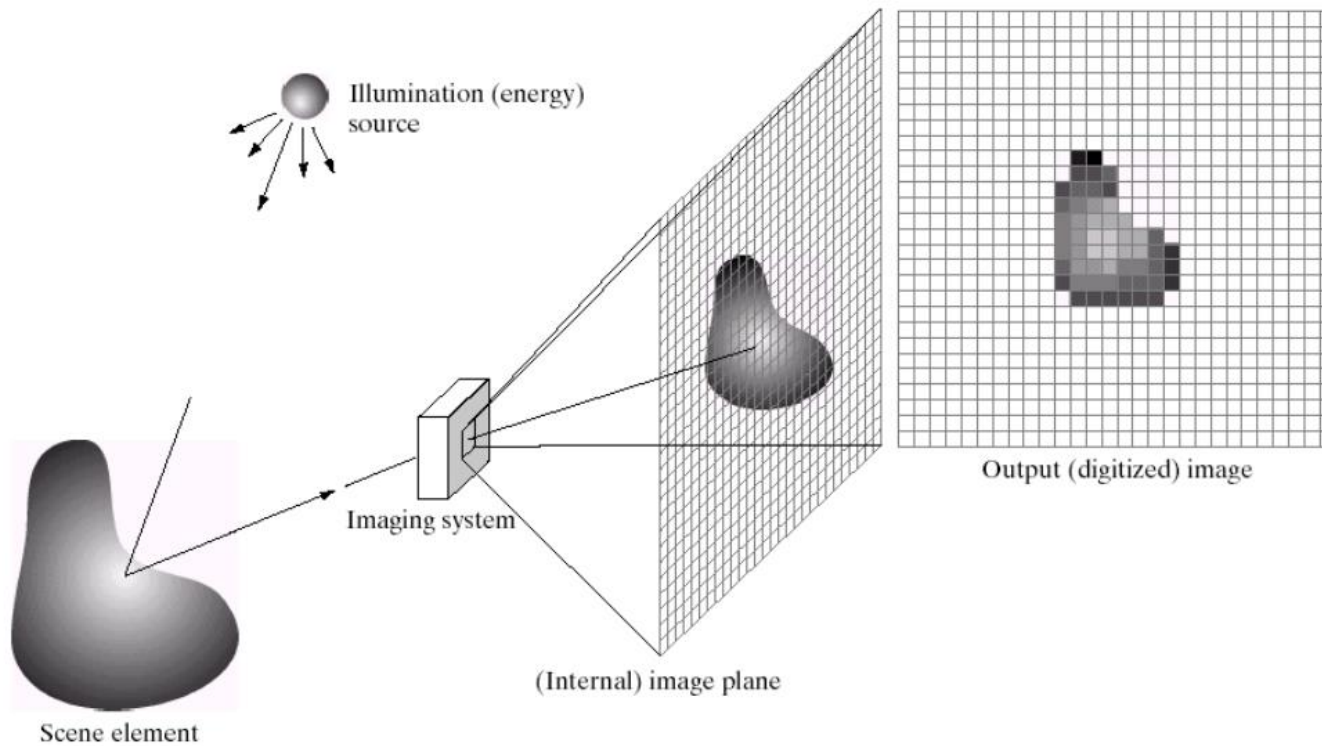


a b

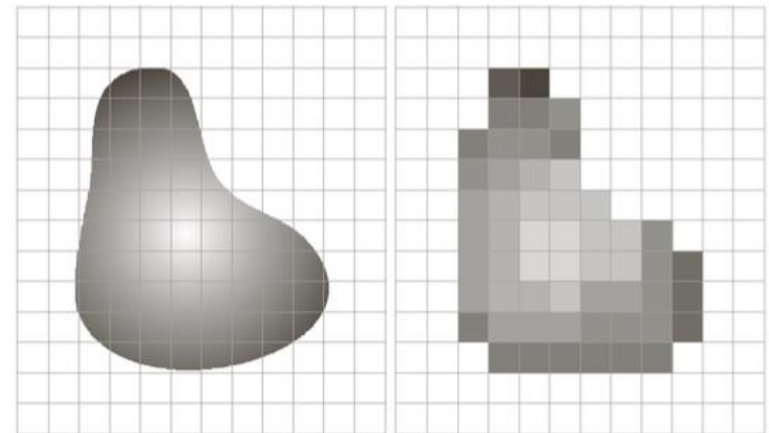
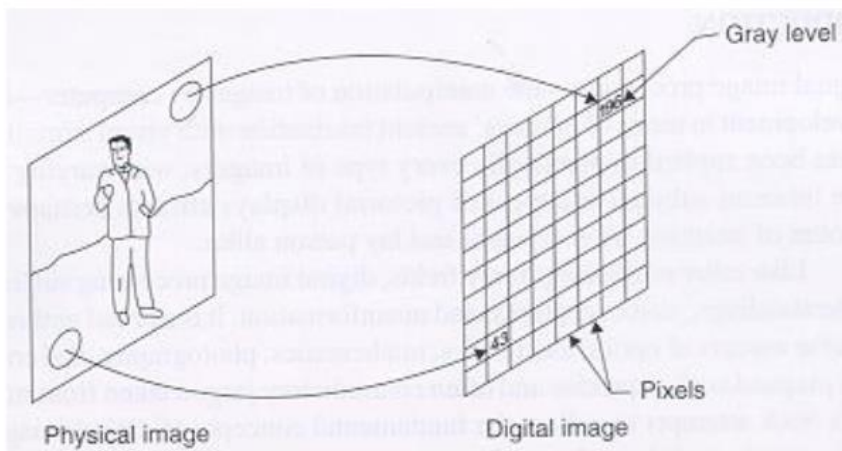
FIGURE 2.17 (a) Continuous image projected onto a sensor array. (b) Result of image sampling and quantization.

Sebuah citra digital adalah versi diskrit dari citra kontinu

Akuisisi Citra Menjadi Citra Digital



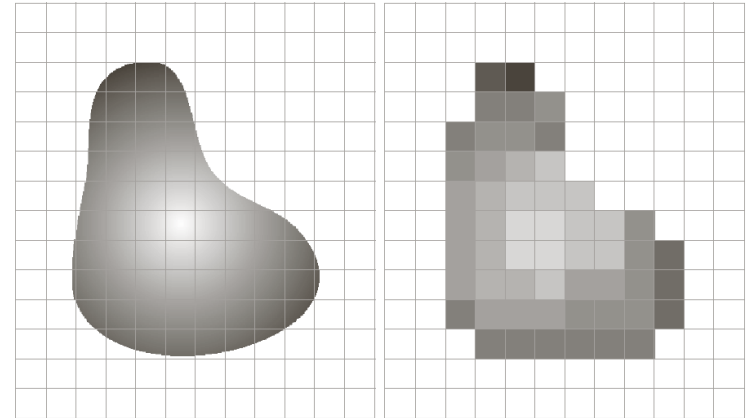
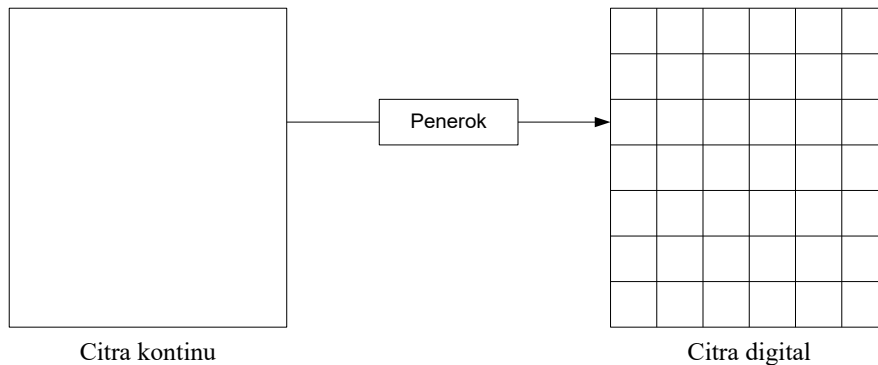
- Proses digitalisasi citra ada dua tahap:
 1. **Penerokan (*sampling*):** yaitu digitalisasi secara spasial (x, y) .
 2. **Kuantisasi:** yaitu mengangkan nilai intensitas $f(x, y)$ menjadi *integer*.
- Kedua proses di atas berkaitan dengan *diskritisasi* tetapi dalam ranah berbeda



Sumber: Dr. George Bebis, *Image Formation and Representation*, CS485/685 Computer Vision

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)



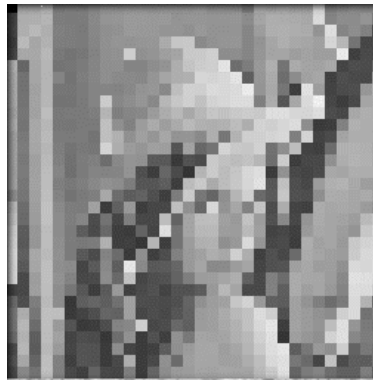
$n = 7$ (128 x 128)



$n = 6$ (64 x 64)



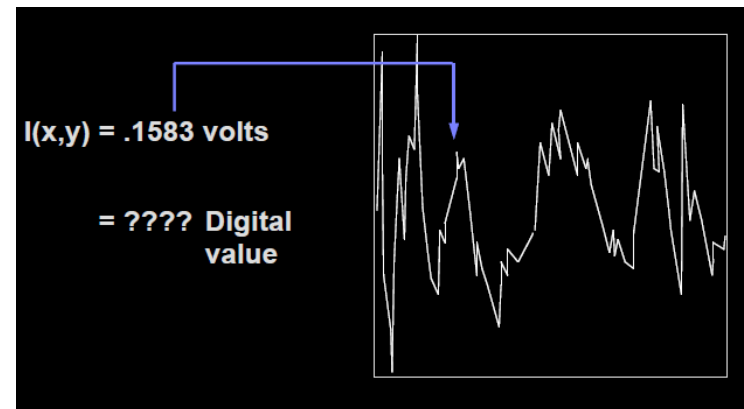
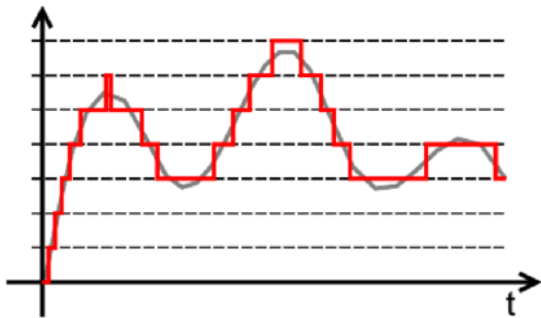
$n = 5$ (32 x 32)



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 G buah nilai diskrit



Sumber: Antonio, R. C., Paiva, *Image representation, sampling, and quantization*, ECE 6962 – Fall 2010

- Nilai intensitas *pixel* dalam integer dinyatakan dalam selang $[0, L]$.
- Selang $[0, L]$ disebut skala keabuan (*graylevel*)
- Proses kuantisasi membagi skala keabuan $[0, L]$ menjadi G buah level.
- Biasanya G diambil perpangkatan dari 2,

$$G = 2^m$$

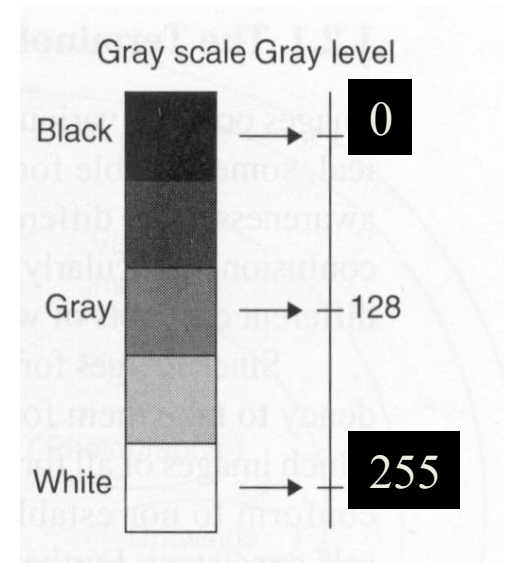
yang dalam hal ini,

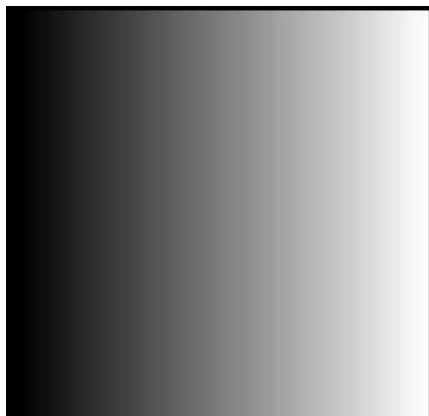
G = derajat keabuan

m = bilangan bulat positif

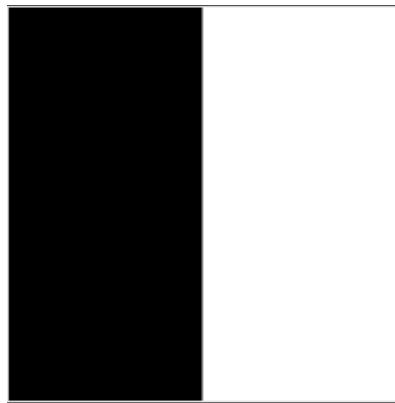
$$G = 2^m$$

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

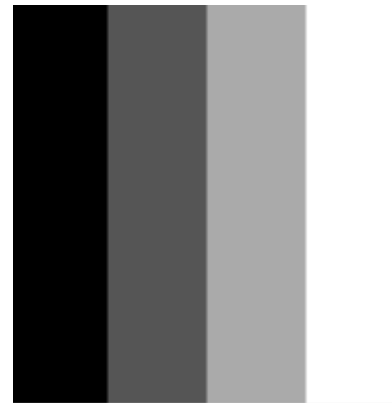




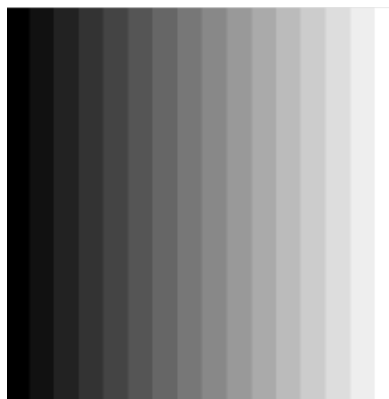
Original image



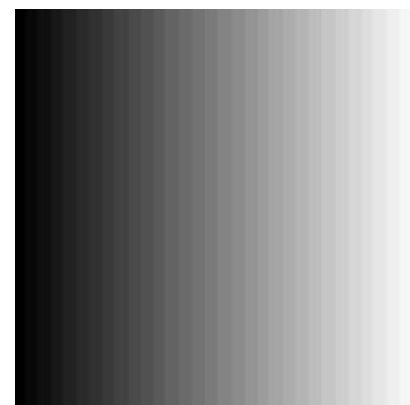
K = 2 graylevel



K = 4 graylevel



K = 16 graylevel



K = 32 graylevel

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

Penurunan mutu citra karena kuantisasi keabuan

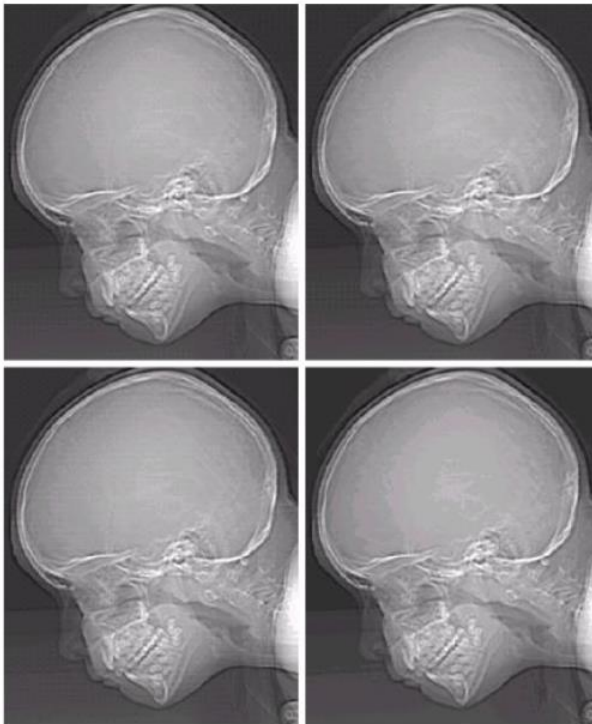
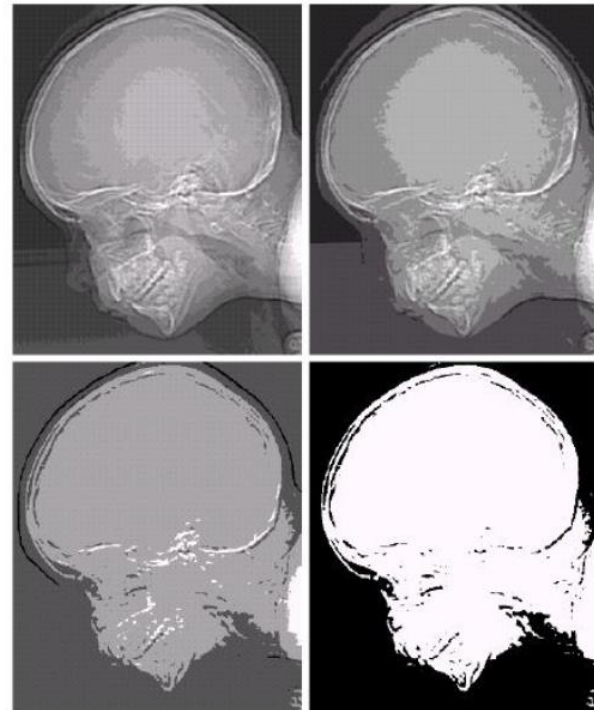


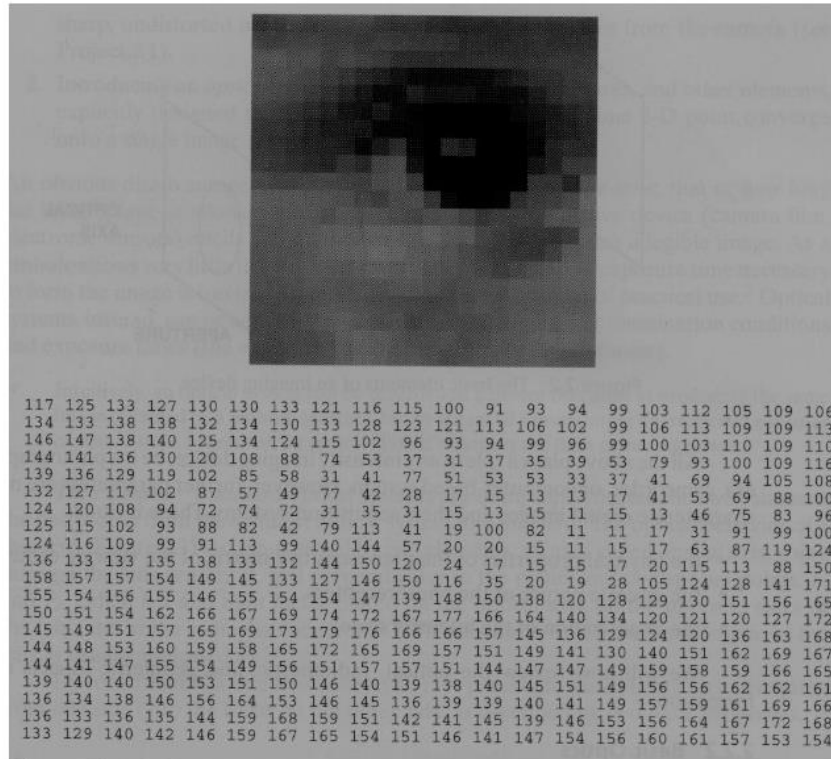
FIGURE 2.21
(a) 452 × 374,
256-level image.
(b)–(d) Image
displayed in 128,
64, and 32 gray
levels, while
keeping the
spatial resolution
constant.

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.)



Aspek	Penerokan (Sampling)	Kuantisasi (Quantization)
Tujuan	Mengubah citra kontinu (analog) menjadi diskret dalam ruang	Mengubah nilai kontinu intensitas menjadi diskret (terbatas)
Apa yang didiskretkan?	Lokasi piksel (spasial)	Nilai intensitas piksel
Contoh	Dari gambar nyata → menjadi matriks 256x256 piksel	Dari nilai intensitas 0.0–1.0 → menjadi 0–255 (8-bit)
Hasil	Gambar digital dengan resolusi tertentu	Gambar digital dengan jumlah tingkat keabuan atau warna tertentu
Tahapan dalam digitalisasi	Biasanya dilakukan lebih dulu	Dilakukan setelah penerokan

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



- 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.

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)

Kualitas Citra

- Selain intensitas kecerahan → jumlah piksel yang digunakan untuk menyusun suatu citra mempengaruhi kualitas citra → resolusi citra
- Resolusi citra biasa dinyatakan jumlah piksel pada arah lebar dan tinggi.
- Resolusi piksel biasa dinyatakan dengan notasi $m \times n$
- jumlah piksel yang digunakan lebih banyak, tentu akan lebih mendekati dengan gambar aslinya

- Pada kuantisasi dengan 1 bit, jumlah level sebanyak 2 atau (2^1). Oleh karena itu, warna yang muncul berupa hitam dan putih saja
- pada tingkat tertentu mata manusia masih bisa menerima citra dengan baik. contoh, citra dengan 4 bit dan 8 bit terlihat sama
- dengan jumlah bit lebih rendah tentu akan mempengaruhi kualitas gambar



(a) 8 bit



(b) 5 bit



(c) 4 bit



(d) 3 bit



(e) 2 bit



(f) 1 bit

**Efek resolusi berdasar
jumlah piksel pada citra
ketika gambar disajikan
dengan ukuran yang sama**

Terlihat bahwa pada resolusi
tertentu citra menjadi kabur
kalau dinyatakan dengan
jumlah piksel yang makin
sedikit



(a) Citra berukuran 512 x 512 piksel



(b) Citra berukuran 256 x 256 piksel



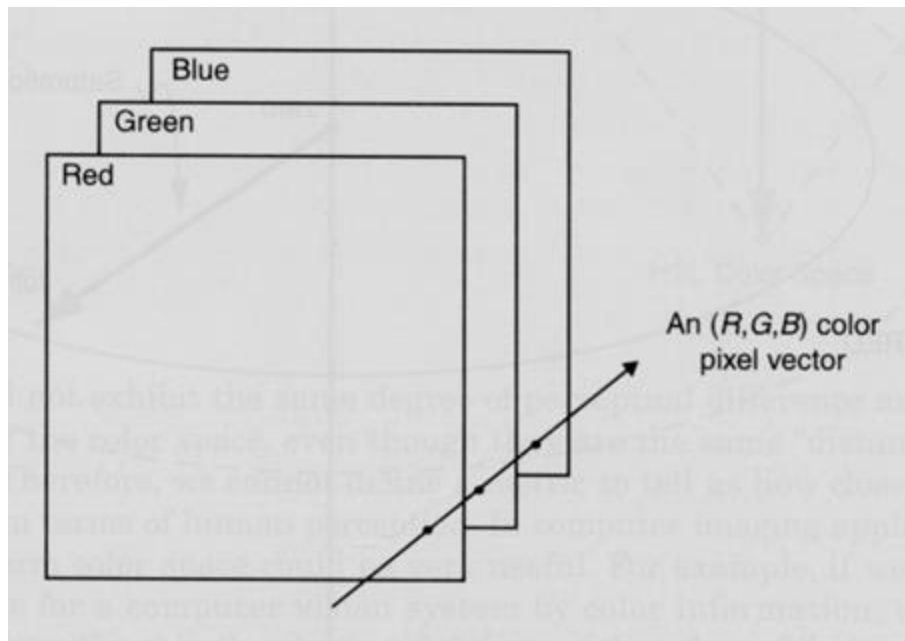
(c) Citra berukuran 128 x 128 piksel



(d) Citra berukuran 64 x 64 piksel

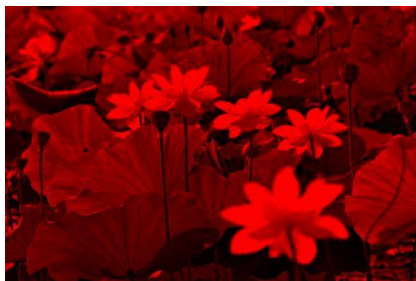
Citra Berwarna

- Citra berwarna (RGB), merupakan jenis citra yang menyajikan warna dalam bentuk komponen R (merah), G (hijau), dan B (biru).
- Setiap komponen warna menggunakan 8 bit (nilainya berkisar antara 0 sampai dengan 255).
- Dengan demikian, kemungkinan warna yang bisa disajikan mencapai $255 \times 255 \times 255$ atau 16.581.375 warna





=



Red



Green



Blue



Red

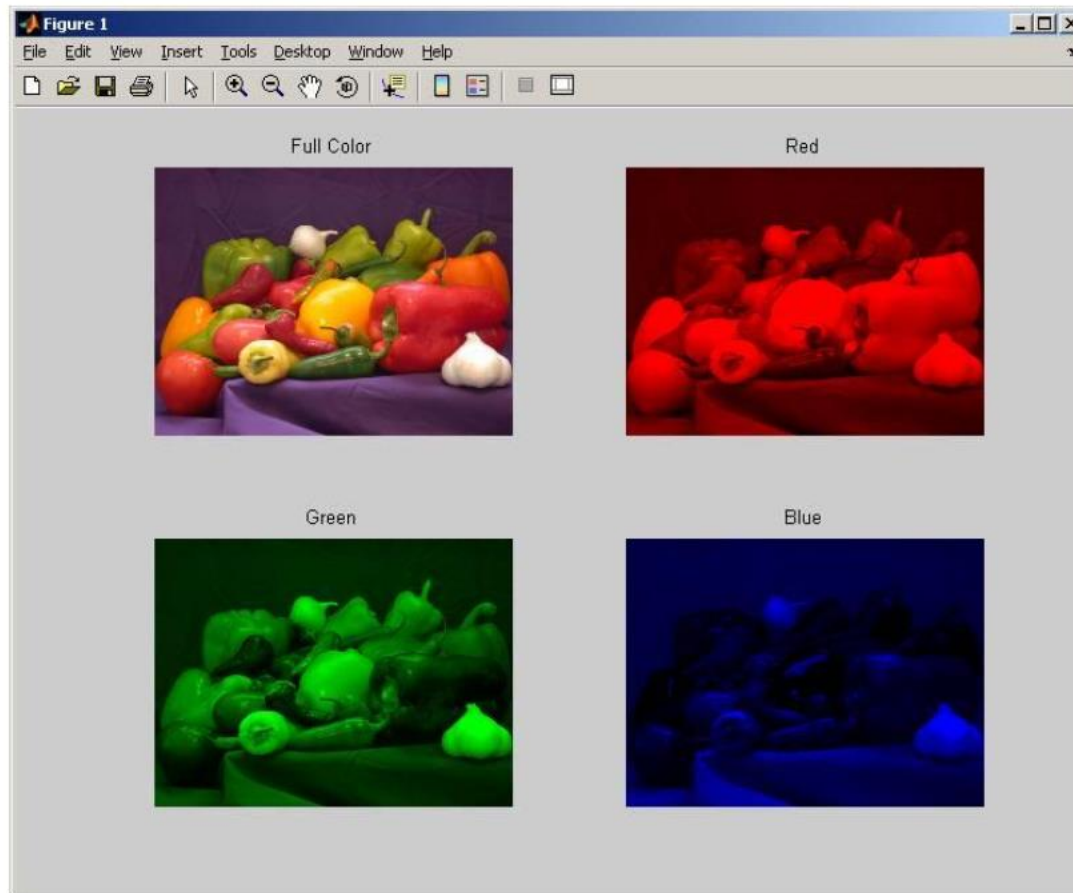
148	162	175	182	189	194	195	193	195	195	197
148	164	174	176	185	189	191	191	196	194	195
144	159	167	176	178	185	188	191	196	194	197
128	147	157	168	173	179	182	184	191	191	192
119	134	148	160	164	170	179	176	181	189	185
145	124	142	151	160	168	169	174	180	182	183
172	120	140	153	157	169	171	178	180	182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

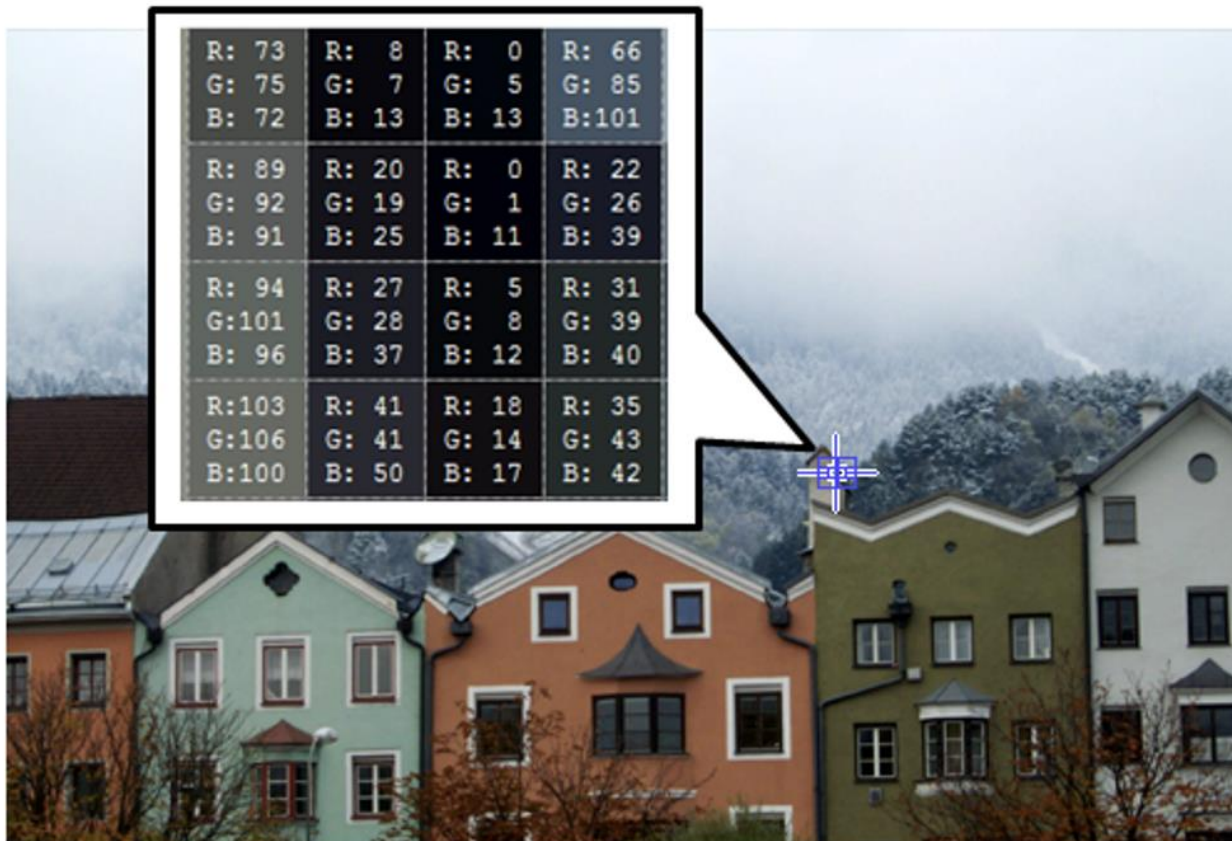
Green

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





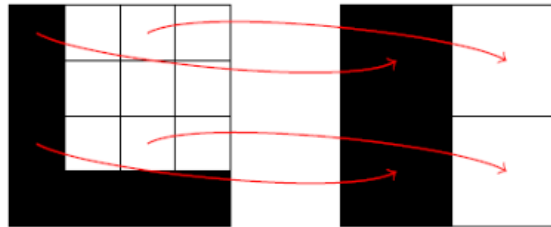
Perlu diketahui, sebuah warna tidak hanya dinyatakan dengan komposisi R, G, dan B tunggal. warna merah mempunyai R=255, G=0, dan B=0. Namun, komposisi R=254, G=1, B=1 juga berwarna merah

Resolusi

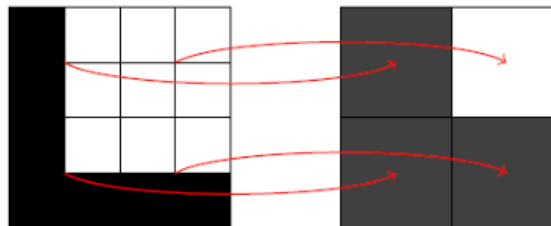
- Citra digital merupakan hasil diskritisasi citra kontinu, baik penerokan dalam ranah ranah spasial maupun kuantisasi dalam ranah nilai intensitas (intensitas).
- Oleh karena itu, istilah resolusi valid untuk setiap ranah, meskipun resolusi sering diacu dalam penerokan secara spasial.
- Resolusi berkaitan 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).

- 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 penerongan, maka perbaikan yang dilakukan adalah dengan melakukan interpolasi

- Metode interpolasi yang umum digunakan:

1. *Nearest neighbor*
2. *Bilinear interpolation*
3. *Bicubic interpolation*

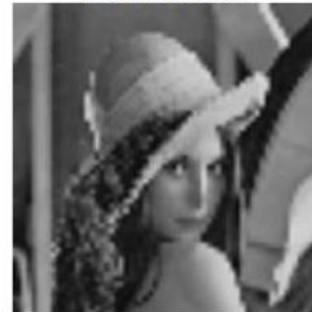
Downsampled



Nearest



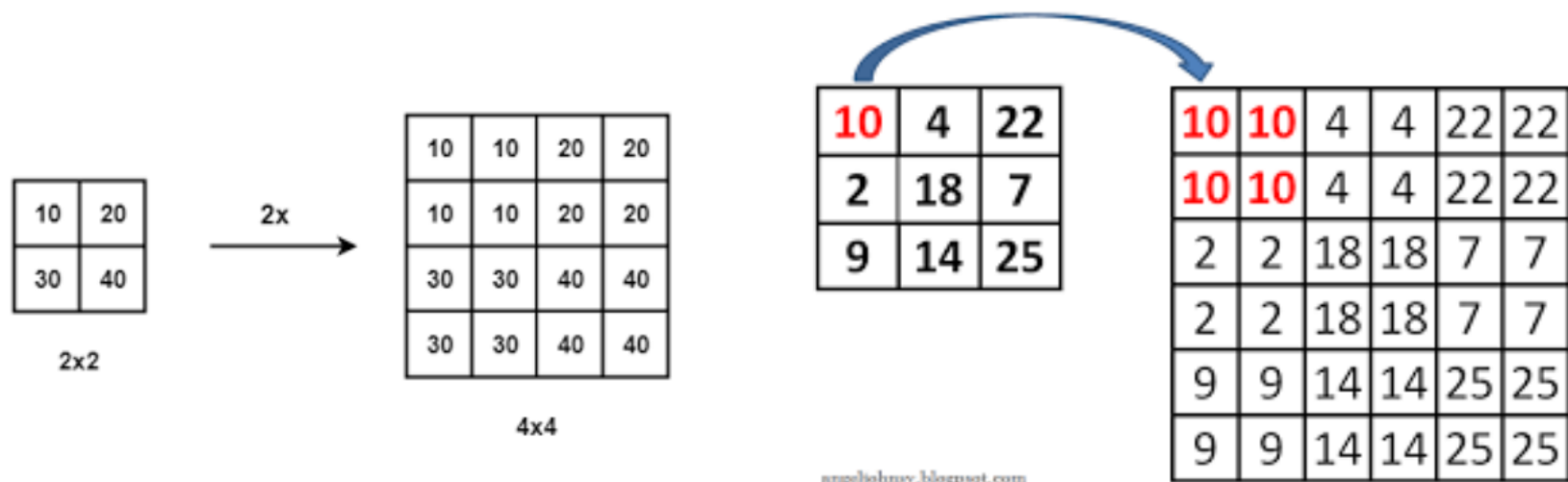
Bilinear



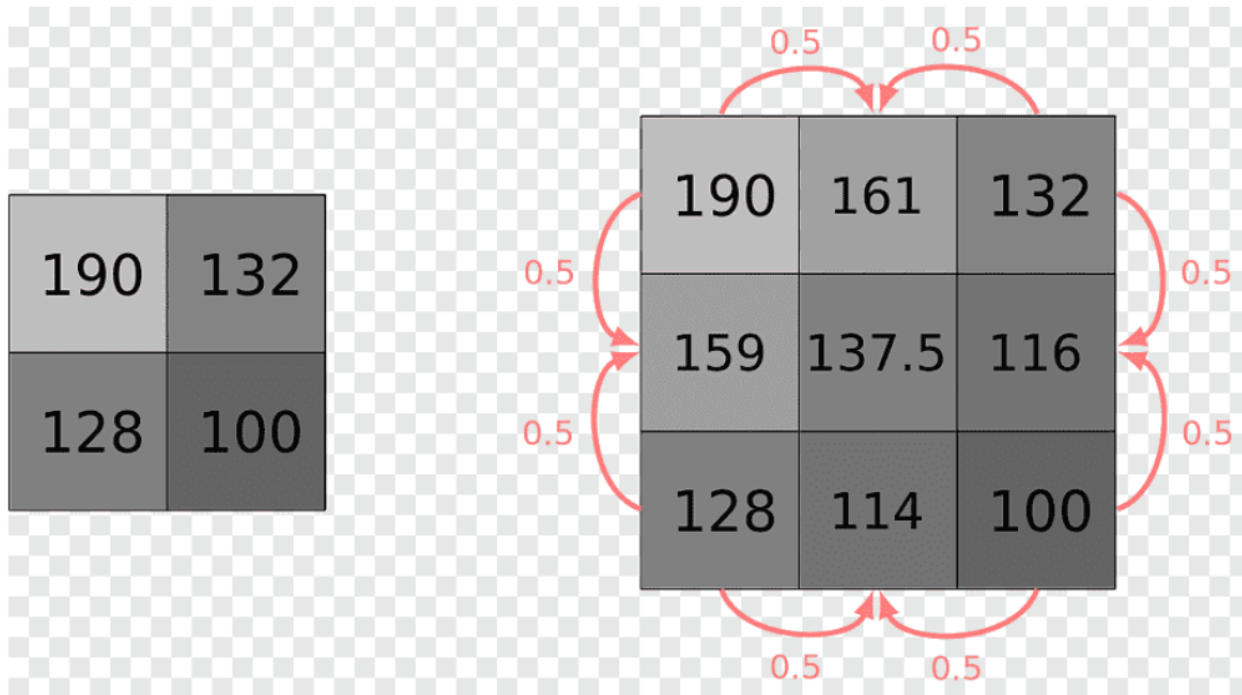
Bicubic



Nearest Neighbor Interpolation



Bilinear Interpolation



Menggunakan empat pixel bertetangga

Misal mencari nilai di **titik (0.5, 0.5)**

1. Interpolasi di arah x (horizontal):

Untuk baris **y = 0**:

$$\begin{aligned} R1 &= (1 - 0.5) \cdot 190 + 0.5 \cdot 132 = 0.5 \cdot 190 + 0.5 \cdot 132 \\ &= 161.0 \end{aligned}$$

Untuk baris **y = 1**:

$$\begin{aligned} R2 &= (1 - 0.5) \cdot 128 + 0.5 \cdot 100 = 0.5 \cdot 128 + 0.5 \cdot 100 \\ &= 114.0 \end{aligned}$$

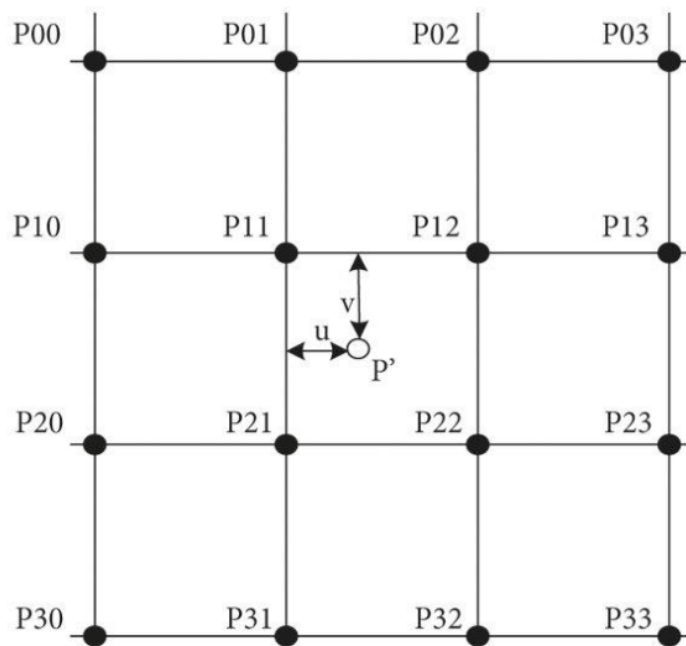
2. Interpolasi di arah y (vertikal):

interpolasi antara **R1 dan R2** untuk **y = 0.5**:

$$\begin{aligned} P &= (1 - 0.5) \cdot 161.0 + 0.5 \cdot 114.0 = 0.5 \cdot 161 + 0.5 \cdot 114 \\ &= 137.5 \end{aligned}$$

- **bilinear interpolation** (pakai **4 piksel tetangga**)
- **Bicubic interpolation** adalah metode interpolasi dua dimensi yang menggunakan **nilai 16 piksel tetangga** (dari matriks 4x4) untuk menghitung nilai intensitas di suatu titik **(x, y)** di dalam citra

Bicubic Interpolation



Menggunakan 16 pixel bertetangga

Lebih lanjut tentang interpolasi citra akan dibahas dalam pokok bahasan tersendiri

Y\X	0	1	2	3
0	52	55	61	59
1	62	59	55	104
2	63	65	66	113
3	64	70	70	126

Rumus interpolasi kubik (Catmull-Rom Spline):

Untuk 4 titik: P_0, P_1, P_2, P_3 dan parameter $t \in [0, 1]$:

$$f(t) = 0.5 \cdot (2P_1 + (P_2 - P_0)t + (2P_0 - 5P_1 + 4P_2 - P_3)t^2 + (-P_0 + 3P_1 - 3P_2 + P_3)t^3)$$

Titik yang akan dihitung (nilai interpolasi bicubic di posisi setengah langkah):

Titik (x,y)

Penjelasan

(0.5, 0.5)

Tengah antara (0,0),(1,1)

(1.5, 0.5)

Tengah antara (1,0),(2,1)

(2.5, 0.5)

Tengah antara (2,0),(3,1)

(0.5, 1.5)

Tengah antara (0,1),(1,2)

(1.5, 1.5)

Tengah antara (1,1),(2,2)

(2.5, 1.5)

Tengah antara (2,1),(3,2)

(0.5, 2.5)

Tengah antara (0,2),(1,3)

(1.5, 2.5)

Tengah antara (1,2),(2,3)

(2.5, 2.5)

Tengah antara (2,2),(3,3)

Y\X	0	1	2	3
0	52	55	61	59
1	62	59	55	104
2	63	65	66	113
3	64	70	70	126

Y\x	0.5	1.5	2.5
0.5	53	58	61
1.5	62	63	73
2.5	63	68	78

interpolasi di **titik (1.5, 1.5)** — di tengah-tengah blok pusat 2x2.

Langkah 1: Interpolasi setiap baris di $x = 1.5$ (berarti $t = 0.5$ antara P1 dan P2)

Baris $y=0$: [52, 55, 61, 59]

$$f_0 = \text{interpolate}(52, 55, 61, 59, t = 0.5) \approx 58.6875$$

Baris $y=1$: [62, 59, 55, 104]

$$f_1 = \text{interpolate}(62, 59, 55, 104, t = 0.5) \approx 57.875$$

Baris $y=2$: [63, 65, 66, 113]

$$f_2 = \text{interpolate}(63, 65, 66, 113, t = 0.5) \approx 66.3125$$

Baris $y=3$: [64, 70, 70, 126]

$$f_3 = \text{interpolate}(64, 70, 70, 126, t = 0.5) \approx 72.625$$

Langkah 2: Interpolasi hasil di atas secara vertikal (y -arah) dengan $t = 0.5$

- Sekarang interpolasi nilai-nilai $[f_0, f_1, f_2, f_3]$:
- $f_y = \text{interpolate}(f_0, f_1, f_2, f_3, t = 0.5)$
- $f_y = \text{interpolate}(58.6875, 57.875, 66.3125, 72.625, 0.5) \approx 63.23$

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