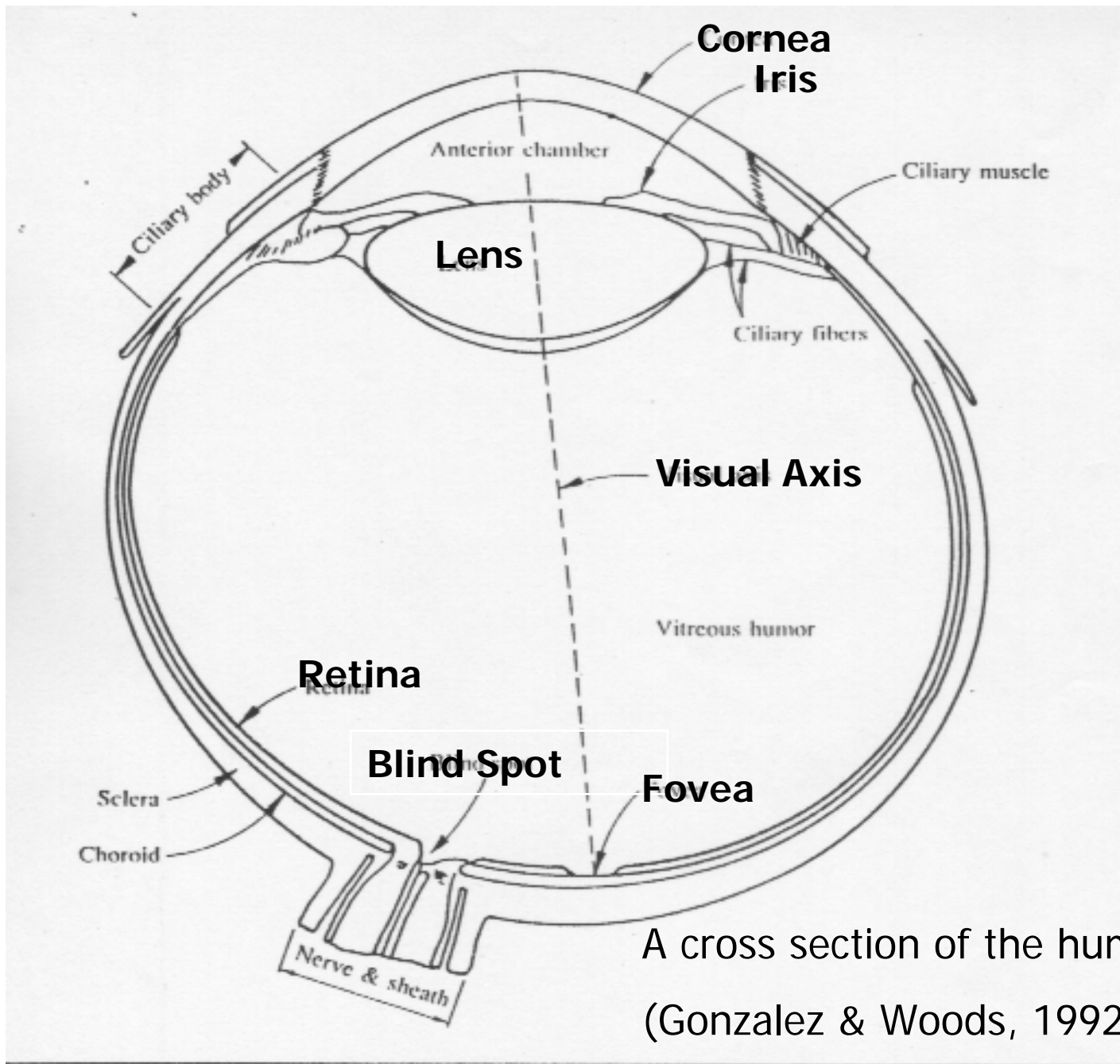


Sistem Visual Manusia

- *Pembentukan Citra oleh Sensor Mata*
 - Intensitas cahaya ditangkap oleh diagram iris dan diteruskan ke bagian retina mata.
 - Bayangan obyek pada retina mata dibentuk dengan mengikuti konsep sistem optik dimana fokus lensa terletak antara retina dan lensa mata.
 - Mata dan syaraf otak dapat menginterpretasi bayangan yang merupakan obyek pada posisi terbalik.



A cross section of the human eye
(Gonzalez & Woods, 1992)

Sistem Visual Manusia

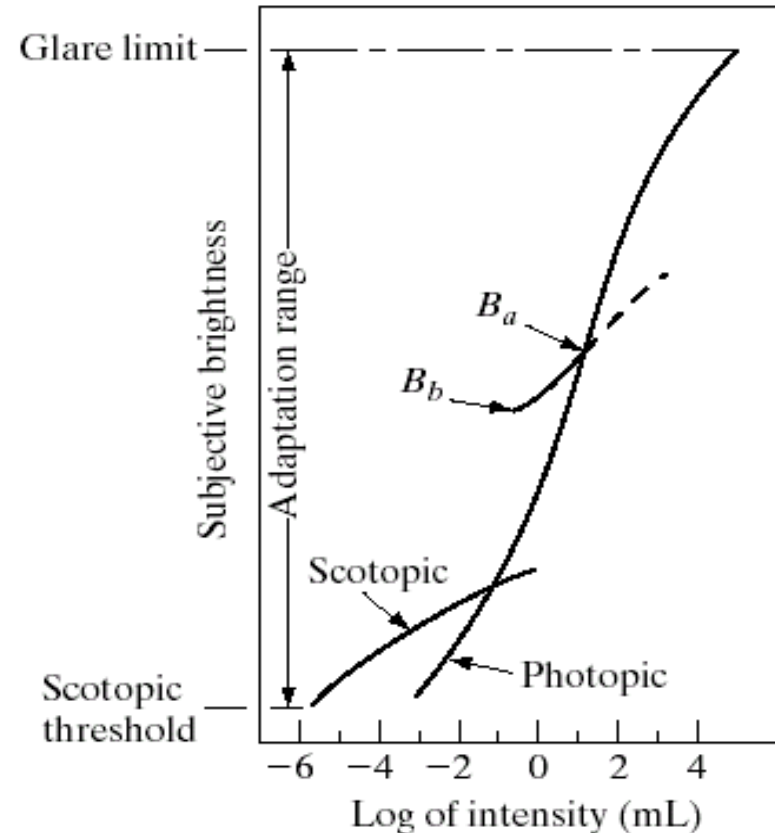
- *Fovea* di bagian *retina* terdiri dari dua jenis *receptor*:
 - Sejumlah cone receptor, sensitif terhadap warna, visi cone disebut photopic vision atau bright light vision
 - Sejumlah rod receptor, memberikan gambar keseluruhan pandangan dan sensitif terhadap iluminasi tingkat rendah, visi rod disebut scotopic vision atau dim-light vision
- *Blind Spot*
 - adalah bagian retina yang tidak mengandung receptor sehingga tidak dapat menerima dan menginterpretasi informasi

Sistem Visual Manusia


- *Subjective brightness*
 - Merupakan tingkat kecermerlangan yang dapat ditangkap sistem visual manusia;
 - Merupakan fungsi logaritmik dari intensitas cahaya yang masuk ke mata manusia;
 - Mempunyai daerah intensitas yang bergerak dari ambang scotopic (redup) ke ambang photopic (terang).
- *Brightness adaption*
 - Merupakan fenomena penyesuaian mata manusia dalam membedakan gradasi tingkat kecermerlangan;
 - Batas daerah tingkat kecermerlangan yang mampu dibedakan secara sekaligus oleh mata manusia lebih kecil dibandingkan dengan daerah tingkat kecermerlangan sebenarnya.


Brightness Adaptation

- Human Visual System (HVS) dapat menampilkan intensitas dengan range yg besar (10^{10})
- Tetapi secara simultan menerima intensitas dalam range yg jauh lebih kecil.
- Jika seseorang berada pada intensitas B_a (outside) dan masuk ke ruangan gelap, dia hanya dapat melihat hingga intensitas B_b . Mata membutuhkan waktu yg lebih lama untuk proses adaptasi dalam mencapai scotopic vision.



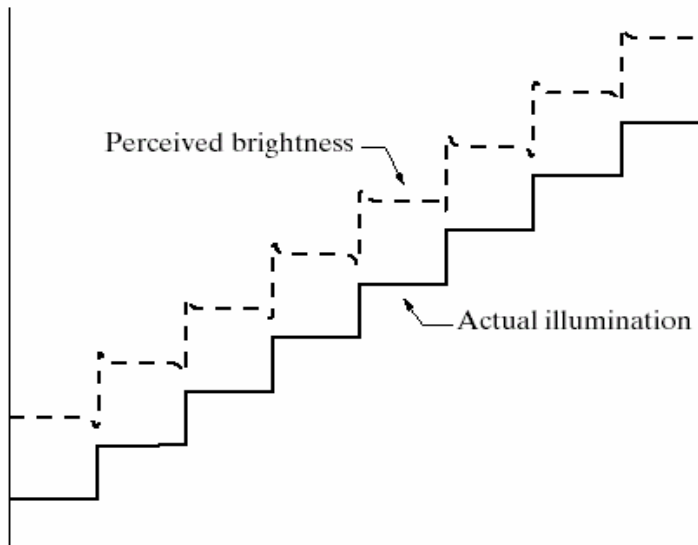
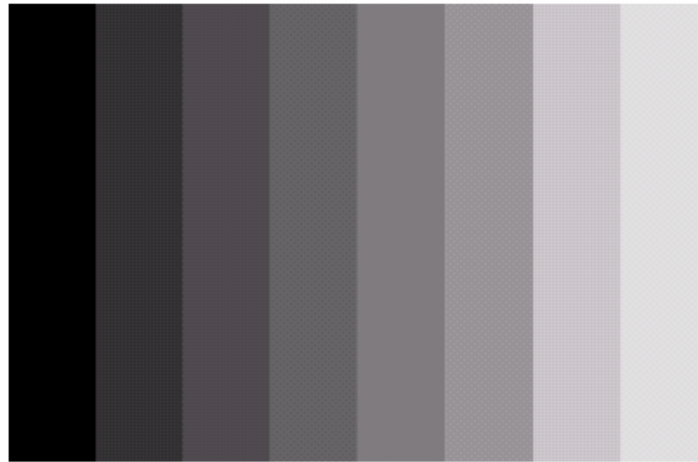
Sistem Visual Manusia

- *Kepekaan dalam pembedaan tingkat kecermerlangan merupakan fungsi yang tidak sederhana, namun dapat dijelaskan antara lain dengan dua fenomena berikut:*
- *Mach Band (ditemukan oleh Ernst Mach):*  *pita tengah bagian kiri kelihatan lebih terang dari bagian kanan.*

- *Simultaneous Contrast:*  *kotak kecil disebelah kiri kelihatan lebih gelap dari kotak kecil disebelah kanan, padahal intensitasnya sama tapi intensitas latar belakang berbeda. Hal sama terjadi bila kertas putih di meja kelihatan lebih putih daripada kertas sama diarahkan ke sinar matahari.*

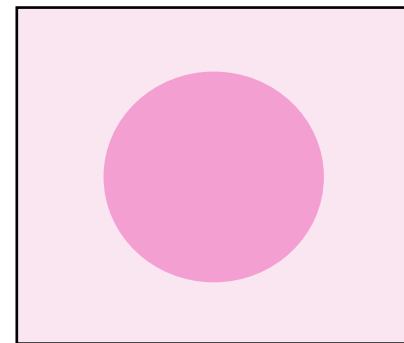
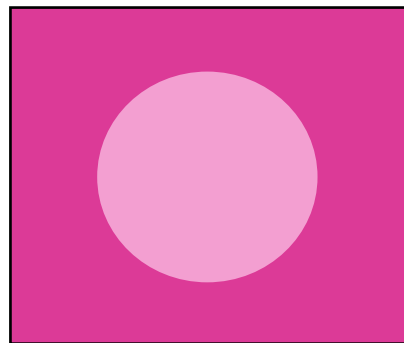
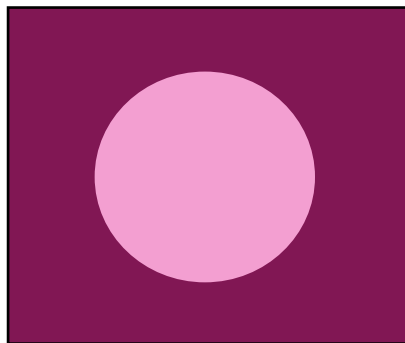
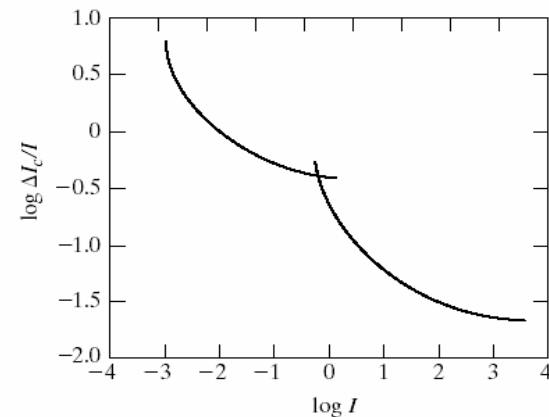
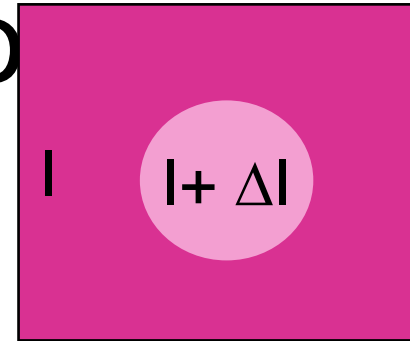
Mach Band Effect

Perceived
Brightness
changes
around strong
edges.



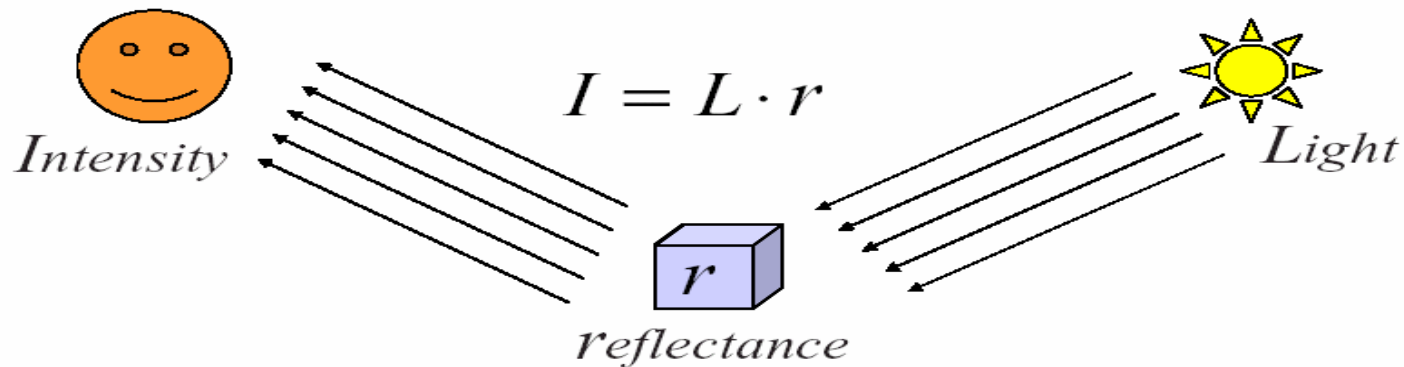
Weber Ratio

- Sensitifitas HVS terhadap perbedaan intensitas terdapat pada perbedaan intensitas warna latar belakang.
- Weber ratio ($\Delta I/I$): merupakan fungsi log I .



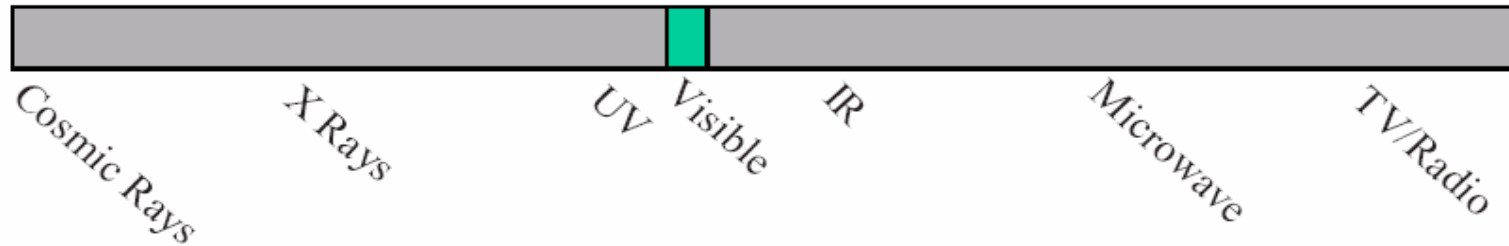
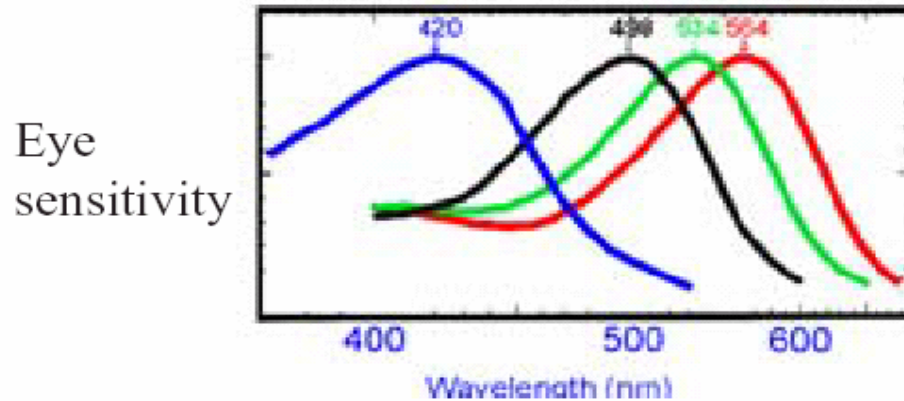
Formasi Citra

- Cahaya dipancarkan dari sumber cahaya
- Cahaya dipantulkan oleh object.
- Cahaya yg dipantulkan ditangkap oleh mata atau camera
- Cahaya adalah radiasi elektromagnetis yang menstimulir respons visual, dan diekspresikan sebagai distribusi energi spectral $L(\lambda)$. dimana λ adalah



Colors - Electromagnetic Radiation

- Visible Light Range: 350-780 nm
- Maximum Sun Energy: 450 nm
- Best Atmospheric Transmittance: Visible Range



Pengertian Citra Digital

- Citra Digital

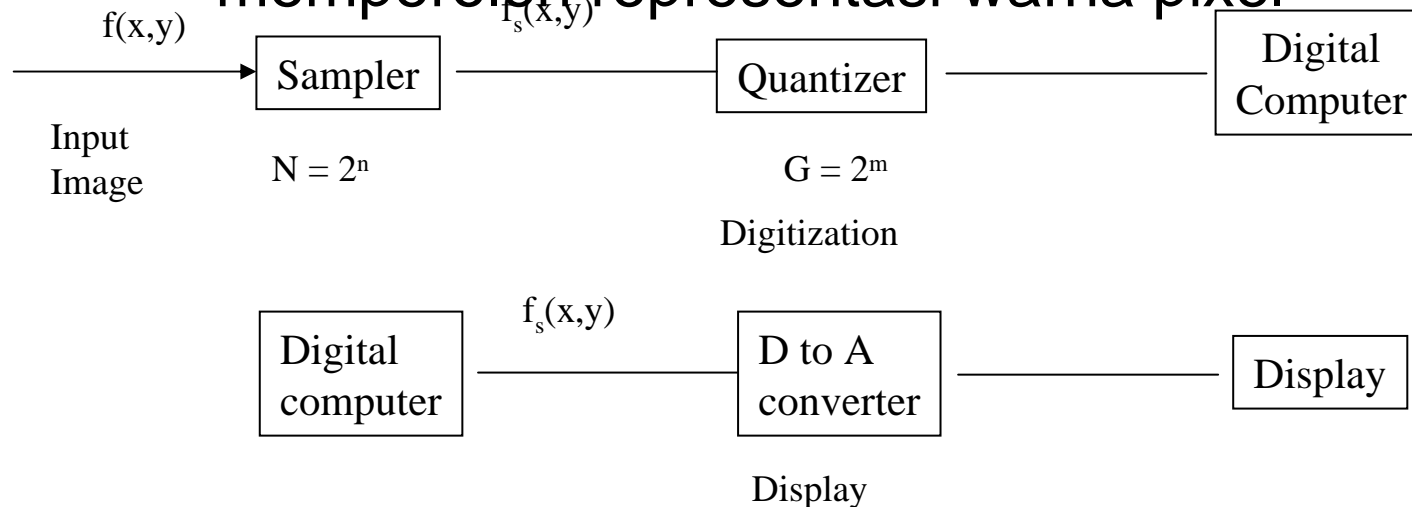
- Citra digital merupakan fungsi intensitas cahaya $f(x,y)$, dimana harga x dan y merupakan koordinat spasial dan harga fungsi tersebut pada setiap titik (x,y) merupakan tingkat kecermerlangan citra pada titik tersebut;
- Citra digital adalah citra $f(x,y)$ dimana dilakukan diskritisasi koordinat spasial (sampling) dan diskritisasi tingkat kecermerlangannya/keabuan (kwantisasi);
- Citra digital merupakan suatu matriks dimana indeks baris dan kolomnya menyatakan suatu titik pada citra tersebut dan elemen matriksnya (yang disebut sebagai elemen gambar / piksel / pixel / picture element / pels) menyatakan tingkat keabuan pada titik tersebut.

Citra Digital dan Pengolahannya

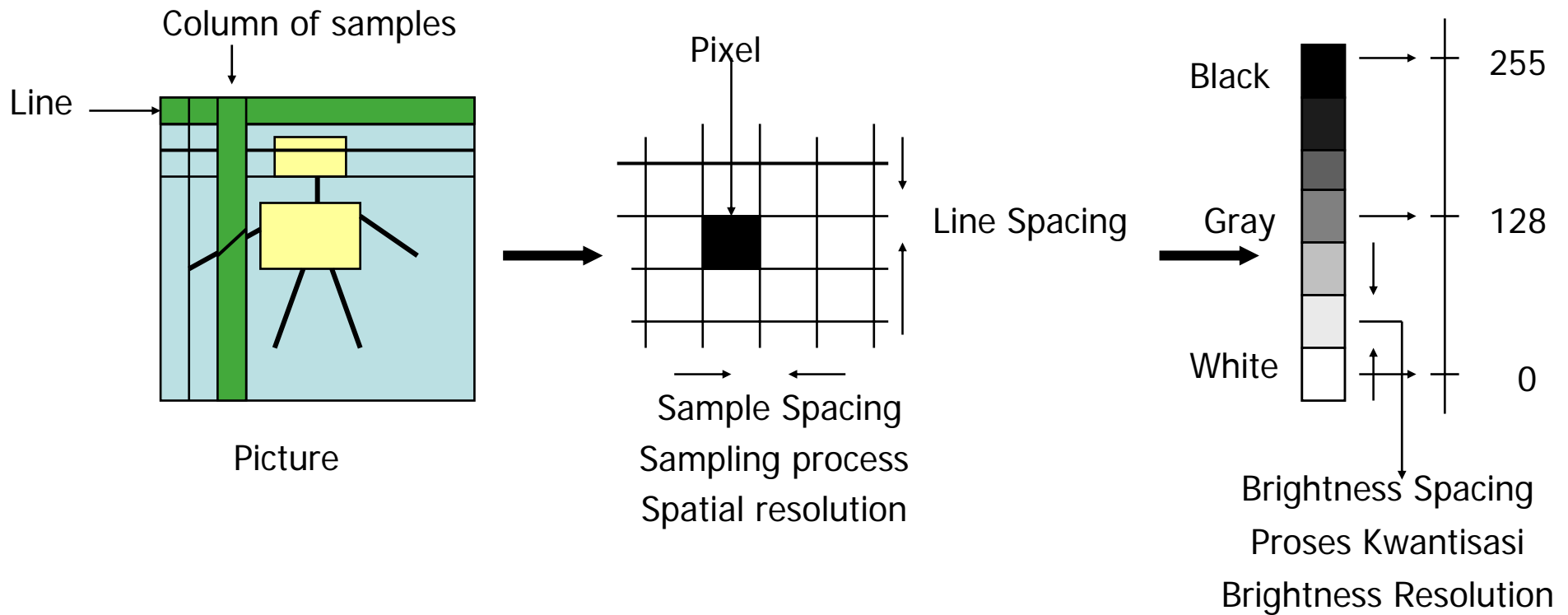
- Citra – Suatu signal dua-dimensi yang dapat diobservasi oleh sistem visual manusia
- Citra Digital – Representasi citra melalui proses sampling berdasarkan ruang dan waktu
- Pengolahan citra digital – melakukan operasi pengolahan signal digital pada citra digital.

Pengolahan Citra di Komputer

- Bentuk dasar citra yang akan diproses oleh komputer adalah dalam bentuk digital, yaitu sebagai array binary word dengan panjang hingga,
- Proses digitalisasi Citra melalui proses sampling dengan kisi-kisi diskrit dan masing-masing kisi-kisi tersebut dikuantisasi ke bilangan integer untuk memperoleh representasi warna pixel



Digitizing an image



Sumber: Dimodifikasi dari Castleman, 1996

Resolusi Spasial dan Kecemerlangan/Brightness

- Resolusi Citra
 - Dikenal: **resolusi spasial** dan **resolusi kecermerlangan**, berpengaruh pada besarnya informasi citra yang hilang.
 - Resolusi spasial: halus / kasarnya pembagian kisi-kisi baris dan kolom. Transformasi citra kontinue ke citra digital disebut dijitisasi (**sampling**). Hasil dijitisasi dengan jumlah baris 256 dan jumlah kolom 256 - resolusi spasial 256 x 256.
 - Resolusi kecermerlangan (intensitas / brightness): halus / kasarnya pembagian tingkat kecermerlangan. Transformasi data analog yang bersifat kontinue ke daerah intensitas diskrit disebut **kwantisasi**. Bila intensitas piksel berkisar antara 0 dan 255 - resolusi kecermerlangan citra adalah 256.

Resolusi Spasial - Sampling

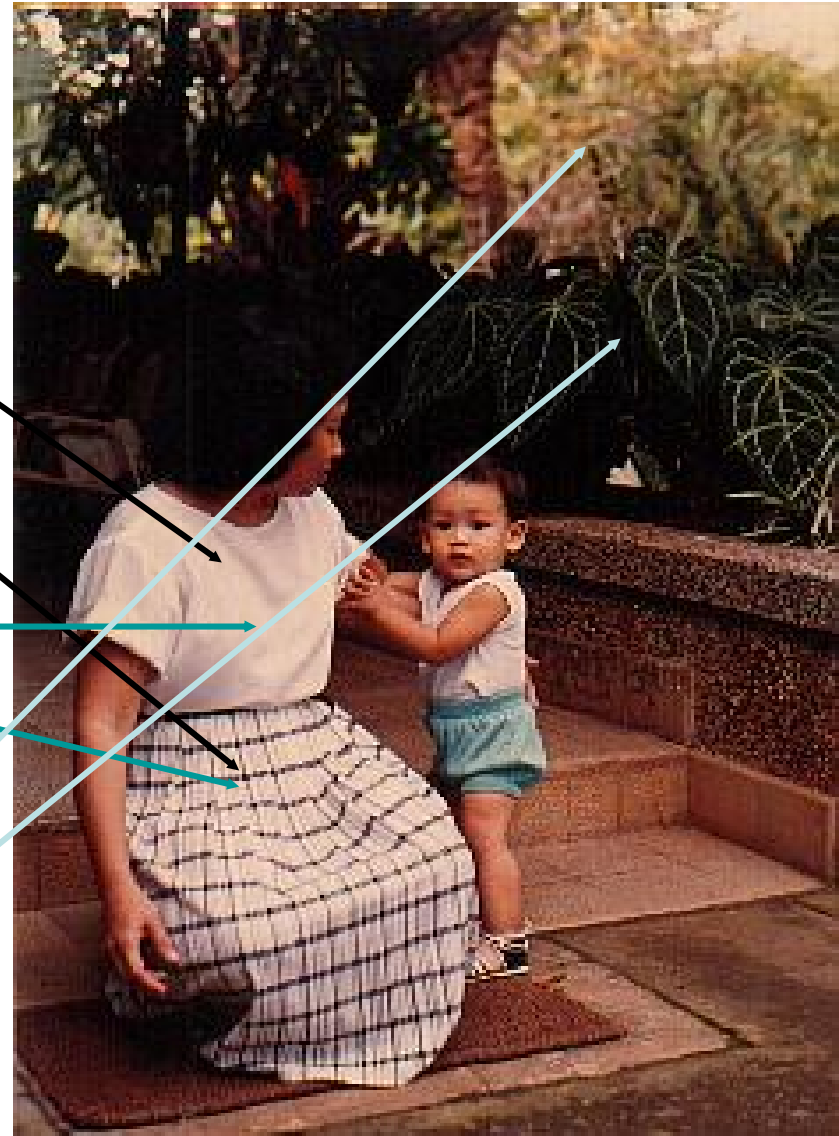
- Sampling Uniform dan Non-uniform
 - Sampling Uniform mempunyai spasi (interval) baris dan kolom yang sama pada seluruh area sebuah citra.
 - Sampling Non-uniform bersifat adaptif tergantung karakteristik citra dan bertujuan untuk menghindari adanya informasi yang hilang. Daerah citra yang mengandung detail yang tinggi di-sampling secara lebih halus, sedangkan daerah yang homogen dapat di-sampling lebih kasar. Kerugian sistem sampling Non-uniform adalah diperlukannya data ukuran spasi atau tanda batas akhir suatu spasi.

Resolusi Kecemerlangan - Kwantisasi

- Kwantisasi Uniform, Non-uniform, dan Tapered
 - Kwantisasi Uniform mempunyai interval pengelompokan tingkat keabuan yang sama (misal: intensitas 1 s/d 10 diberi nilai 1, intensitas 11 s/d 20 diberi nilai 2, dstnya).
 - Kwantisasi Non-uniform: Kwantisasi yang lebih halus diperlukan terutama pada bagian citra yang meng-gambarkan detil atau tekstur atau batas suatu wilayah obyek, dan kwantisasi yang lebih kasar diberlakukan pada wilayah yang sama pada bagian obyek.
 - Kwantisasi Tapered: bila ada daerah tingkat keabuan yang sering muncul sebaiknya di-kwantisasi secara lebih halus dan diluar batas daerah tersebut dapat di-kwantisasi secara lebih kasar (local stretching).

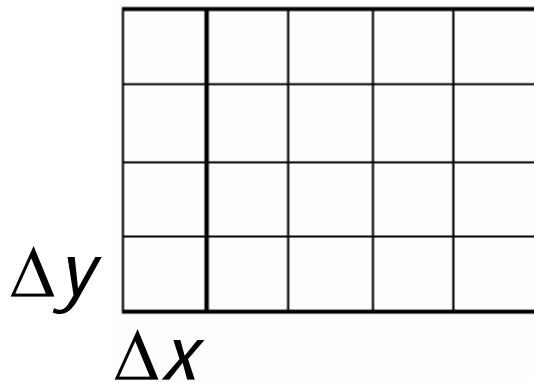
Resolusi Uniform vs Non-Uniform

- Tidak perlu resolusi spasial yang non-uniform
- Perlu resolusi spasial yang non-uniform
- Tidak perlu resolusi kecemerlangan yang non-uniform (untuk warna hitam dan putih)
- Perlu resolusi kecemerlangan yang non-uniform (untuk warna kehijauan dan kemerahan)



Sampling

- A continuous image function $f(x, y)$ can be sampled using a discrete grid of sampling points in the plane. The image is sampled at points $x = j (\Delta x)$, $y = k (\Delta y)$



(a)

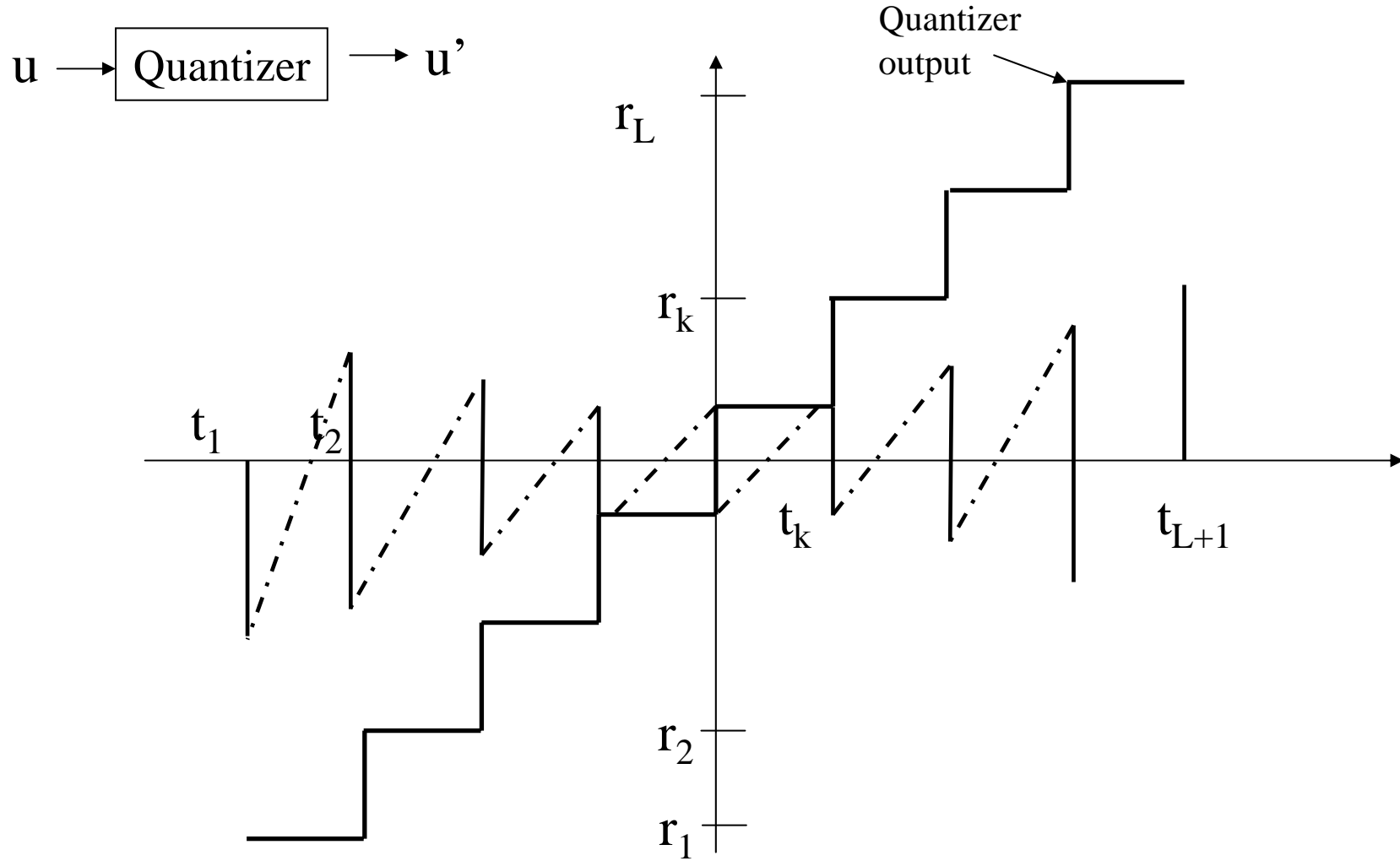
$$f_s(x, y) = f(x, y) \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{2\pi i \left(\frac{mx}{\Delta x} + \frac{ny}{\Delta y} \right)}$$

$$F_s(u, v) = \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{j=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} F\left(u - \frac{j}{\Delta x}, v - \frac{k}{\Delta y}\right)$$

Kuantisasi

- Memetakan suatu variabel kontinu u ke diskrit variabel u' , dengan nilai pada himpunan hingga $\{r_1, r_2, \dots, r_L\}$
- Kuantisasi rule:
 - Definisikan $\{t_k, k=1, \dots, L+1\}$ sebagai himpunan transisi, dimana t_1 dan t_{L+1} sebagai nilai minimum dan maksimum u .
 - Jika u berada pada interval $[t_k, t_{k+1})$, maka u dipetakan ke r_k

Kuantisasi



Contoh Kuantisasi

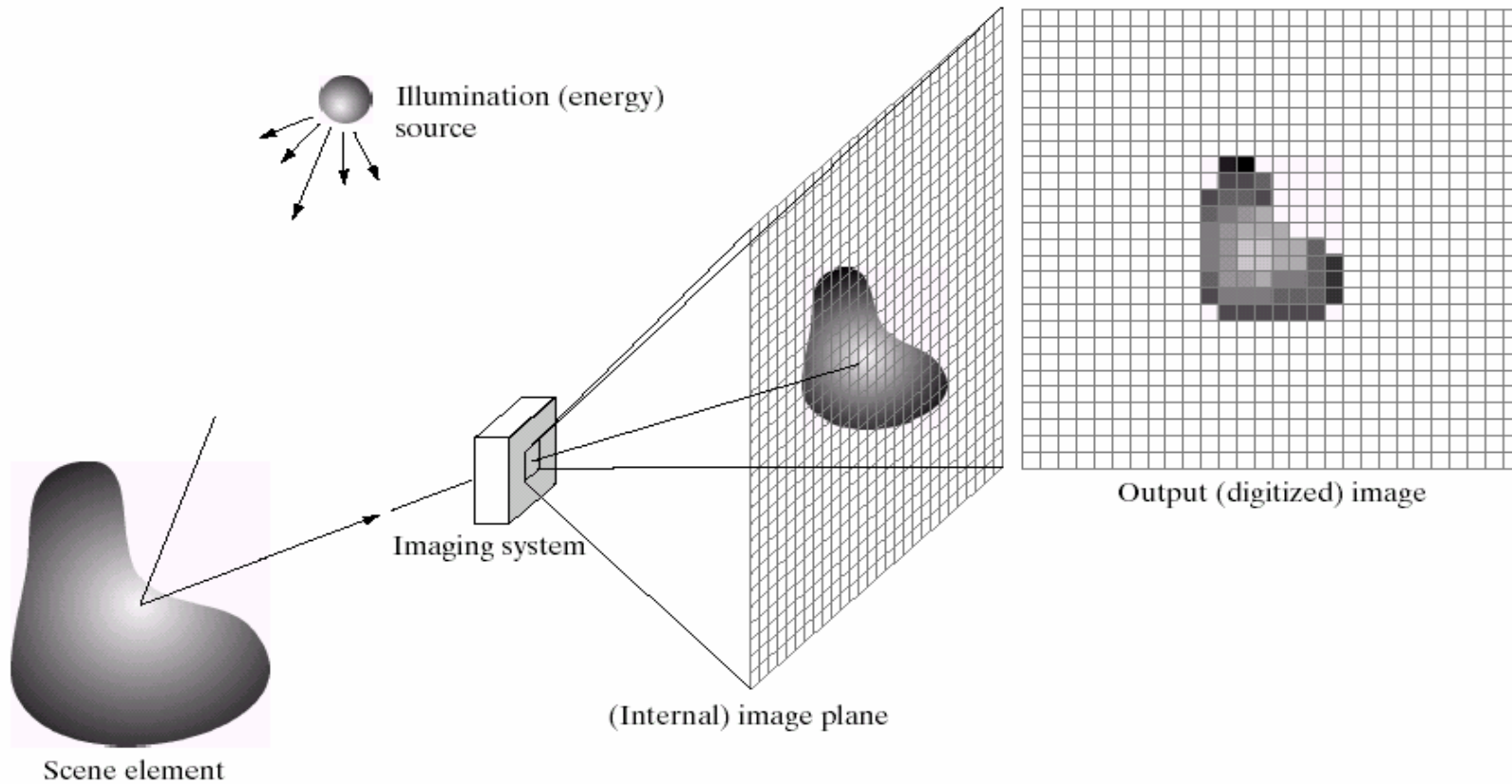
Misalkan range output suatu sensor memiliki nilai antara 0.0 hingga 10.0. Jika sample dikuantisasi secara uniform ke level 256, maka level transisi dan rekonstruksi :

$$t_k = \frac{10 (k-1)}{256} \quad k = 1, \dots, 257$$

$$r_k = t_k + \frac{5}{256}$$

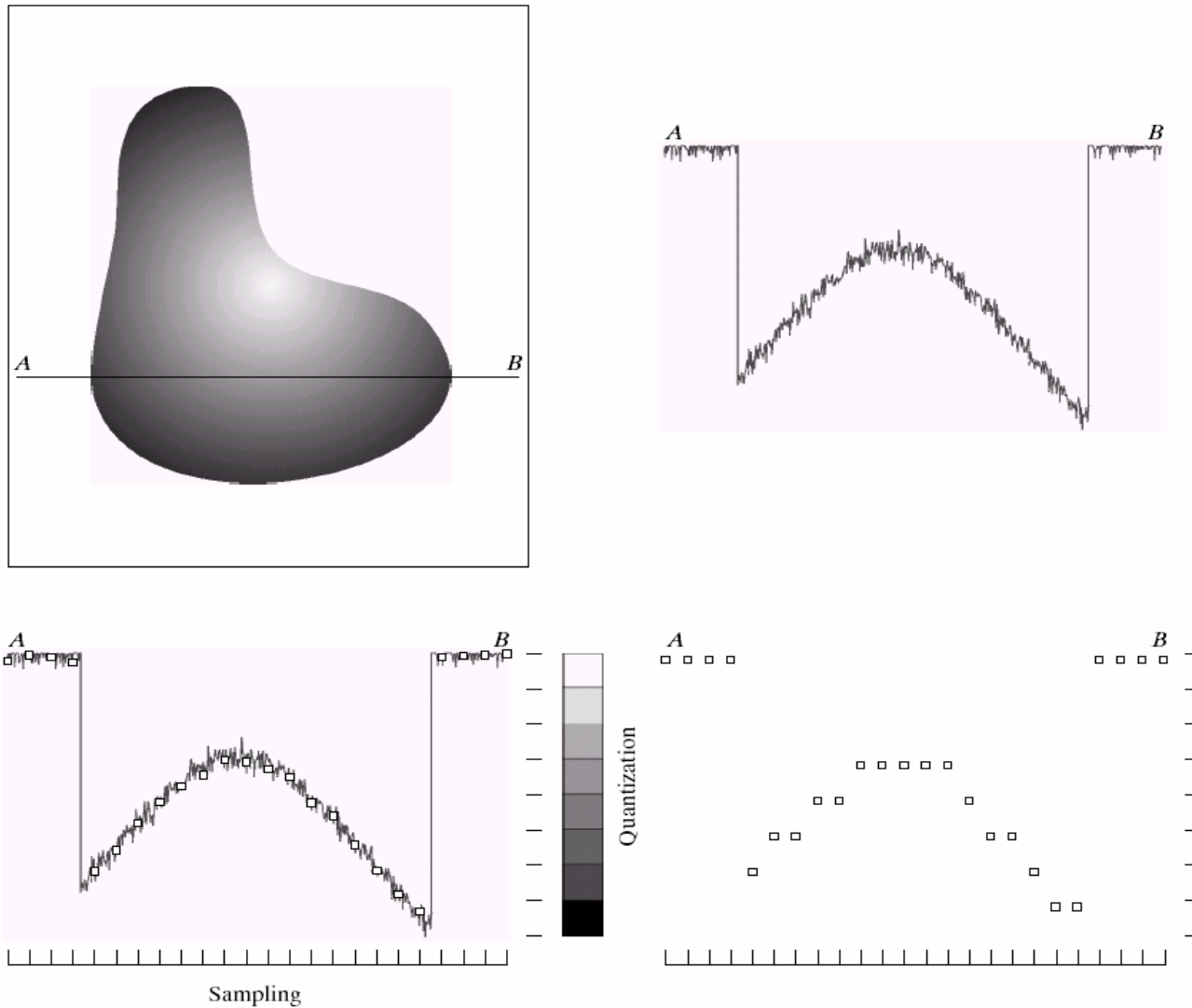
Interval $q = t_k - t_{k-1} = r_k - r_{k-1}$ is constant for different values of k and is called the quantization interval

Perolehan Citra Digital



a b c d e

FIGURE 2.15 An example of the digital image acquisition process. (a) Energy (“illumination”) source. (b) An element of a scene. (c) Imaging system. (d) Projection of the scene onto the image plane. (e) Digitized image.

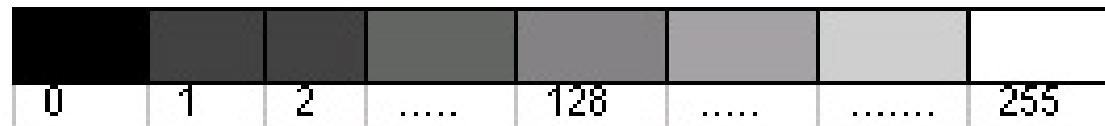


a b
c d

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.

Palet Warna

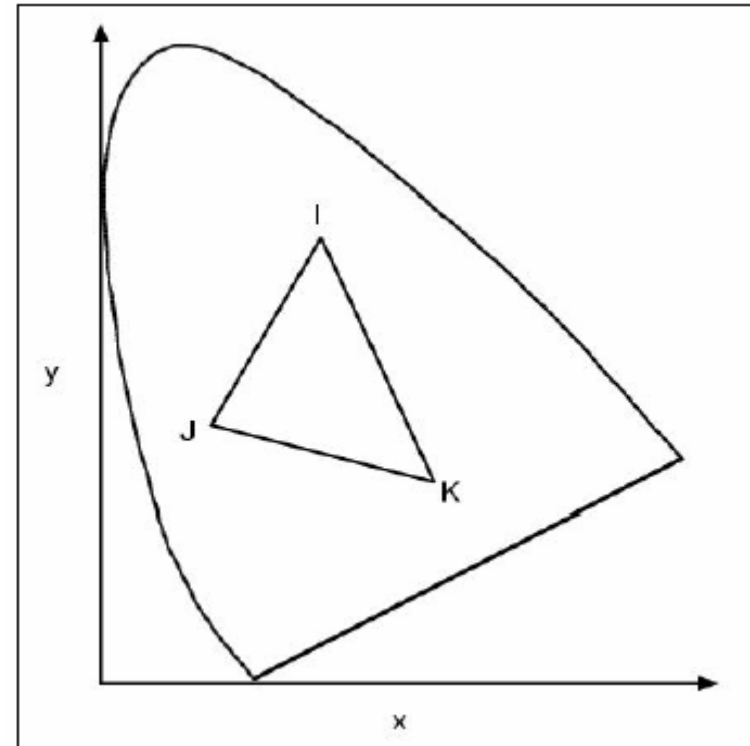
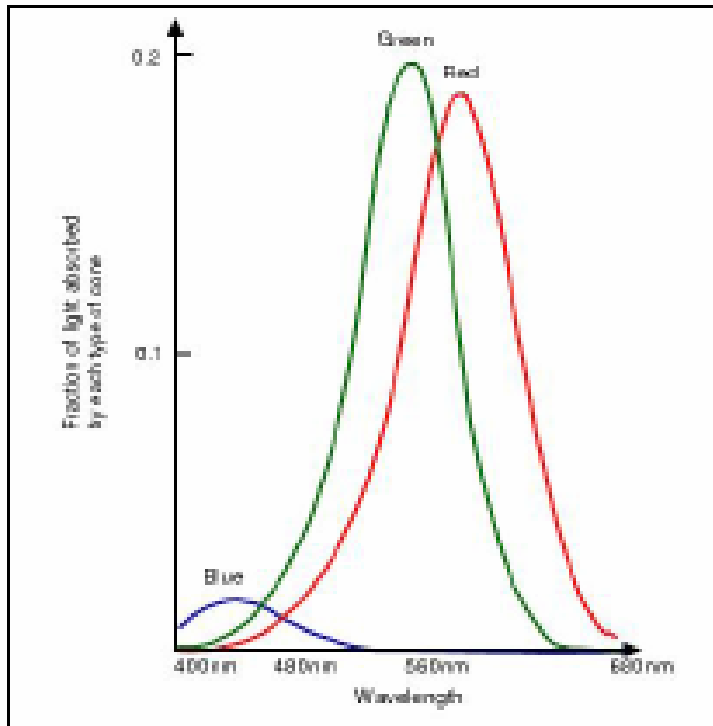
- Bagaimana sebuah citra direpresentasikan dalam file?
 - Pertama-tama seperti halnya jika kita ingin melukis sebuah gambar, kita harus memiliki palet dan kanvas
 - Palet: kumpulan warna yang dapat membentuk citra, sama halnya seperti kita hendak melukis dengan cat warna, kita memiliki palet yang bisa kita isikan berbagai warna cat air
 - Setiap warna yang berbeda dalam palet tersebut kita beri nomor (berupa angka)
 - Contoh untuk citra monokrom (warnanya hanya putih-abuabu-hitam), berarti kita memiliki palet sbb:



Tiga kuantisasi yang dapat digunakan untuk menggambarkan warna:

- **Hue** ditentukan oleh dominan panjang gelombang. Warna yang dapat dilihat oleh mata memiliki panjang gelombang antara 400 nm (violet) - 700 nm (red) pada spektrum electromagnetic.
- **Saturation** ditentukan oleh tingkat kemurnian, dan tergantung pada jumlah sinar putih yang tercampur dengan hue. Suatu warna hue murni adalah secara penuh tersaturasi, yaitu tidak ada sinar putih yang tercampur. Hue dan saturation digabungkan menentukan chromaticity suatu warna. Intensitas ditentukan oleh jumlah sinar yang diserap. Semakin banyak sinar yang diserap semakin tinggi intensitas warnanya.
- **Sinar Achromatic** tidak memiliki warna, tetapi hanya ditentukan oleh atribut intensitas. Tingkat keabuan (Greylevel) adalah ukuran intensitas yang ditentukan oleh energi, sehingga merupakan suatu kuantitas fisik. Dalam hal lain, brightness atau luminance ditentukan oleh persepsi warna (sehingga dapat merupakan efek psychology). Apabila diberikan sinar biru dan hijau dengan intensitas yang sama, sinar biru diterima (perceived) lebih gelap dibandingkan sinar hijau. Sehingga dapat dikatakan bahwa persepsi intensitas manusia adalah non-linear, misalkan perubahan intensitas yang dinormalisasi dari 0.1 ke 0.11 dan 0.5 ke 0.55 akan diterima dengan perubahan tingkat kecerahan (brightness) yang sama.

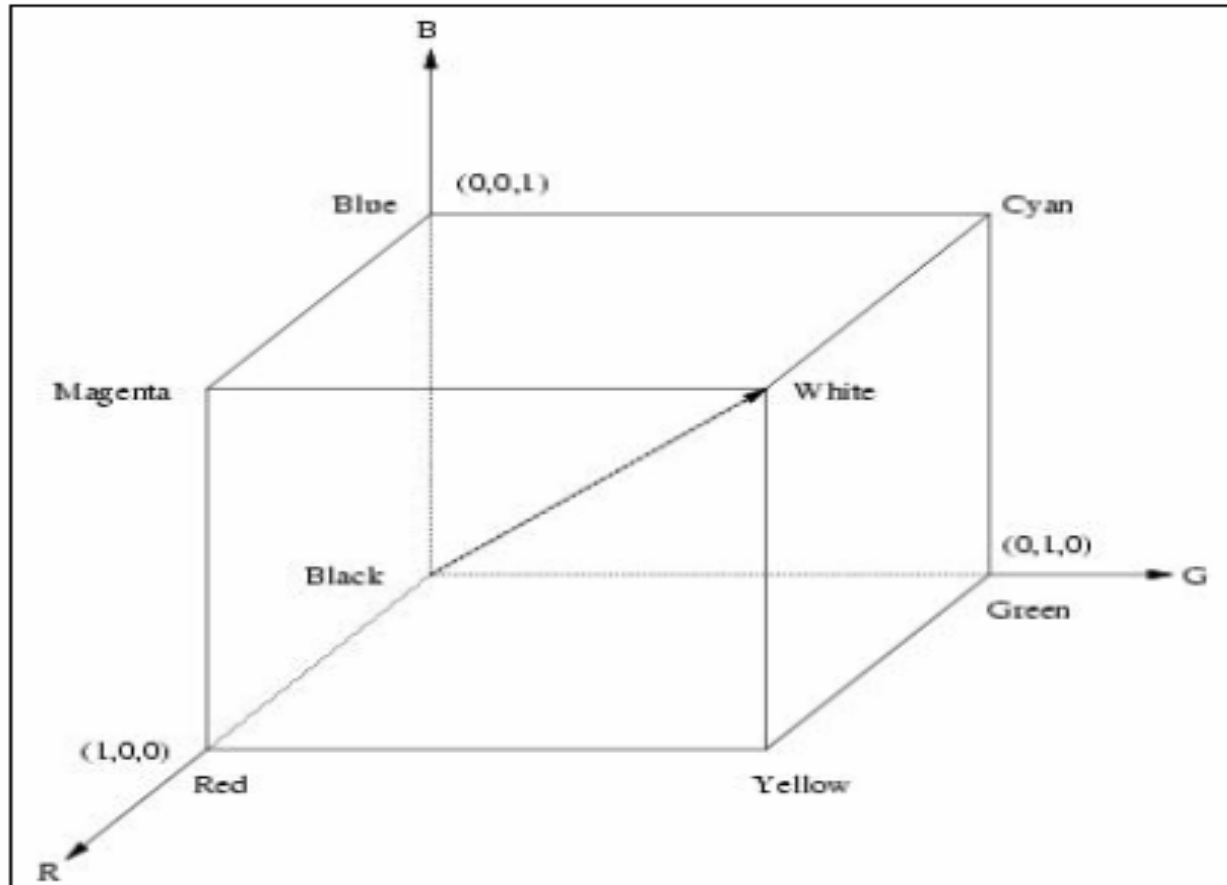
Spectral response curves for each cone type. The peaks for each curve are at 440nm (blue), 545nm (green) and 580nm (red).



Warna Campuran pada Diagram Chromaticity.

(Gonzalez & Woods, 1992)

MODEL RGB



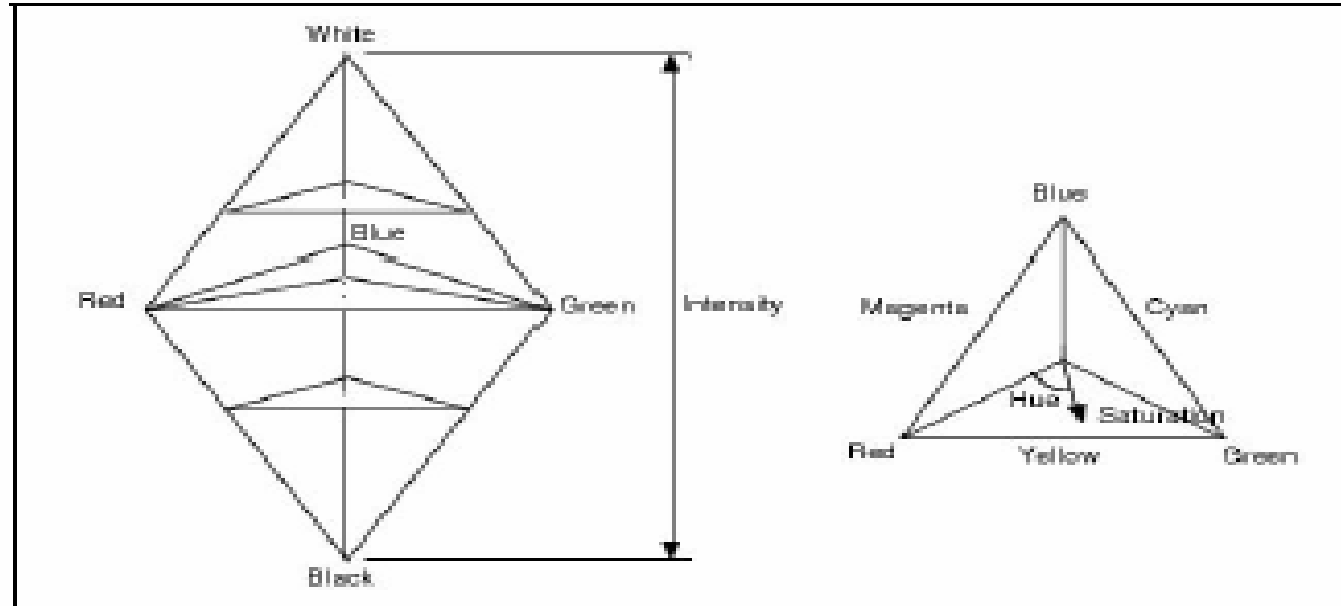
Model CMY

Model CMY (Cyan, Magenta dan Yellow) adalah suatu model subtractive yang berhubungan dengan penyerapan warna, sebagai contoh pigment warna cat. Suatu permukaan yang dicat warna cyan kemudian diiluminasi sinar putih, maka tidak ada sinar merah yang dipantulkan, dan similar untuk warna magenta dengan hijau, dan kuning dengan biru. Relasi model CMY adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Model HIS (Hue-Saturation-Intensity)

Gambar sebelah kiri merupakan bentuk solid HSI dan sebelah kanan adalah model segitiga HSI yang merupakan bidang datar dari pemotongan model solid HSI secara horisontal pada tingkat intensitas tertentu. Hue ditentukan dari warna merah, saturation ditentukan berdasarkan jarak dari sumbu. Warna pada permukaan model solid dibentuk dari saturasi penuh, yaitu warna murni, dan spektrum tingkat keabuan, berada pada sumbu yang solid. Untuk warna-warna ini, hue tidak didefinisikan.



Model HIS (Hue-Saturation-Intensity)

Konversi nilai antar model RGB dan HSI adalah sebagai berikut

$$I = \frac{(R+G+B)}{3}$$

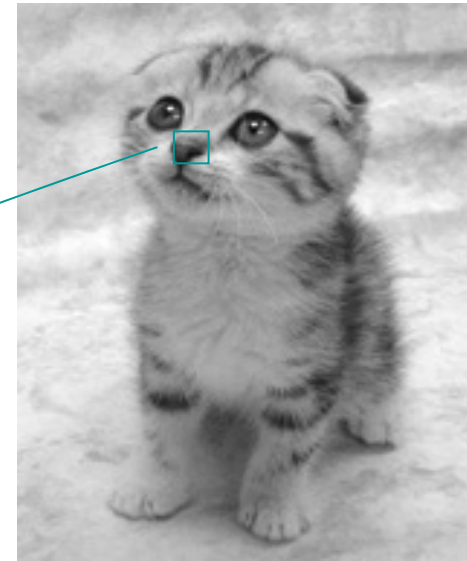
dimana kuantitas R, G, dan B adalah jumlah komponen warna merah, hijau, biru dan dinormilisasi ke [0,1]. Intensitas adalah nilai rata-rata komponen merah, hijau dan biru. Nilai saturation ditentukan sebagai:

$$S = 1 - \frac{\min(R,G,B)}{I} = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} \min(R, G, B)$$

Kanvas & Matriks

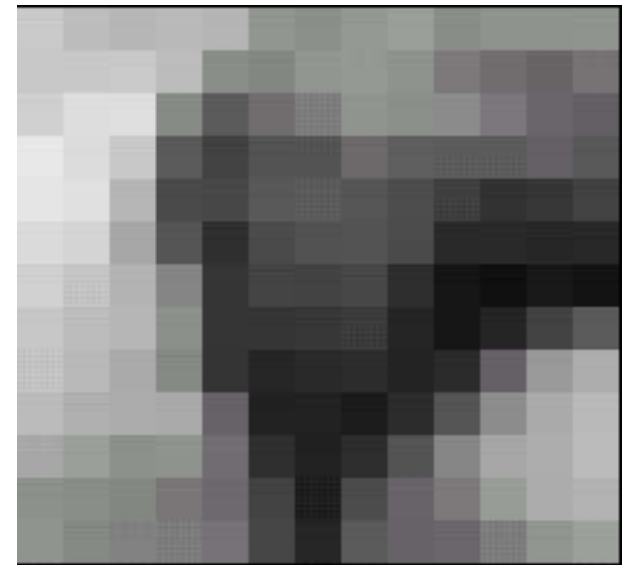
- Setelah itu kita dapat menggambar menggunakan warna-warna dalam palet tersebut di atas sebuah kanvas
- Sebuah kanvas dapat kita anggap sebagai sebuah matriks dimana setiap elemen dari matriks tersebut bisa kita isikan dengan salah satu warna dari palet
- Informasi tentang palet (korespondensi antara warna dengan angka) disimpan dalam komputer (program pembuka citra seperti Paint, Photoshop, dll) sehingga sebuah file citra dalam komputer hanya perlu menyimpan angka-angka yang merepresentasikan sebuah warna.
- → sebuah citra direpresentasikan dalam sebuah matriks yang berisi angka-angka

Contoh



201	188	181	185	180	147	140	149	155	138	144	144	145
199	200	201	188	139	132	147	150	143	123	112	102	117
207	221	222	136	90	111	125	145	140	138	122	104	97
231	219	200	90	65	84	84	107	95	92	92	99	89
227	223	181	74	72	89	92	86	77	63	50	55	65
217	211	166	85	47	75	82	83	75	42	42	39	40
208	195	179	131	54	68	66	72	46	21	15	24	19
198	187	181	141	53	54	55	59	37	21	37	66	90
195	184	170	134	52	38	42	45	35	43	98	152	172
186	175	171	169	100	34	34	27	44	85	139	170	184
167	156	142	144	112	48	32	46	84	133	166	172	186
142	139	131	120	108	67	30	76	102	123	153	171	178
145	134	128	125	117	70	38	91	101	105	125	146	157

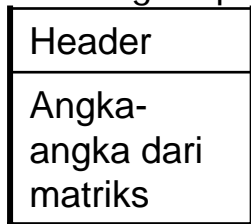
=



Alur

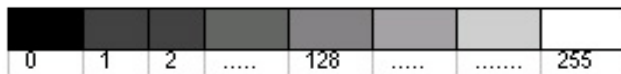
- Jika kita menyimpan gambar kucing tadi ke dalam sebuah file (kucing.bmp), maka yang disimpan dalam file tersebut adalah angka-angka yang diperoleh dari matriks kanvas.

File kucing.bmp:



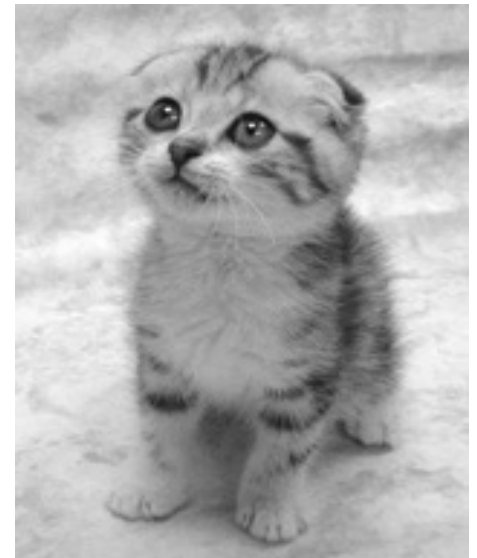
input

Program pembuka citra
(Paint, Photoshop, dll)



Informasi palet dan format file citra

Ditampilkan di layar



Representasi dalam File

- Untuk Windows Bitmap Files (.bmp)
 - Ada header berisi informasi jumlah baris dan kolom dalam citra, informasi palet, dll
 - Header langsung diikuti dengan angka-angka dalam matriks, disusun perbaris
 - Baris pertama langsung diikuti baris kedua, dst
 - Bagaimana mengetahui awal suatu baris? (misal untuk membedakan citra berukuran 100x200 dengan 200x100) → lihat informasi jumlah baris dan jumlah kolom di header

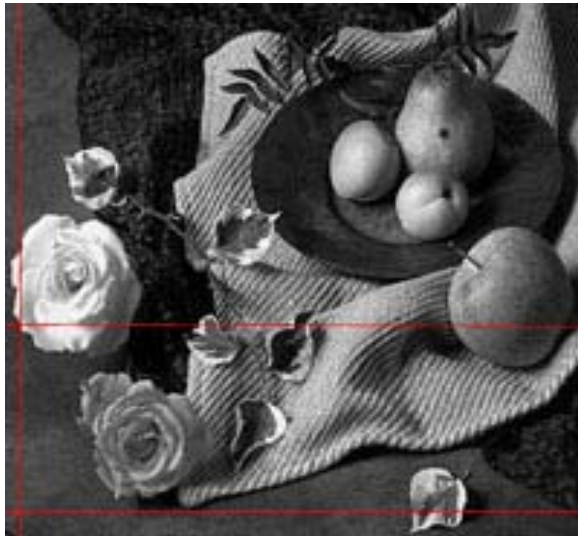
Header	Baris 1	Baris terakhir
--------	---------	-------	----------------

Representasi dalam File

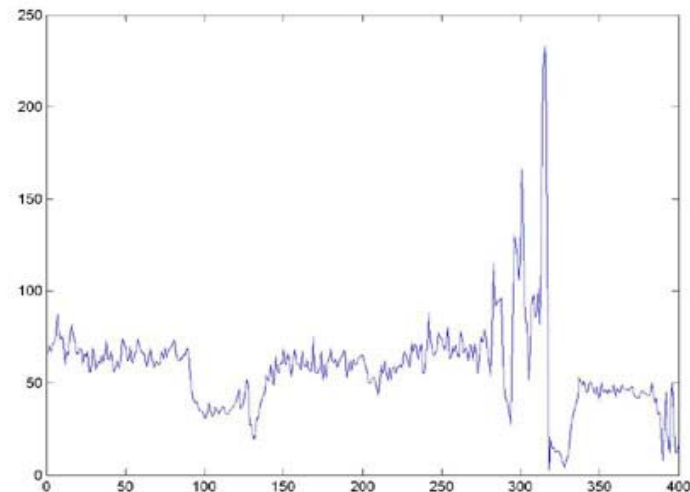
- Ada bermacam format representasi citra dalam file, seperti bmp, tif, jpg, dan sebagainya.
- Format BMP merupakan format yang kurang efisien, karena semua informasi angka dalam baris disimpan semua. Misalkan ukuran header adalah H byte, ukuran citra 100x100 byte monokrom, maka ukuran file bmp tersebut adalah : $H + \text{data citra} = H + 10000 \text{ Byte}$
- Bagian data citra (10000 byte) sebenarnya bisa dikompresi agar ukuran file tidak terlalu besar. Salah satu cara kompresi adalah dengan terlebih dahulu mentransformasikan citra ke ruang yang berbeda (contoh: format file JPEG)

Kaitannya dengan frekuensi?

- Citra → ambil 1 baris → plot (sumbu x: posisi piksel dalam baris, sumbu y: intensitas keabuan/warna)



```
Columns 1-9 :      71 70  70 70  73 77  81 83  73
.....
Columns 307-315:  92 93  84 93  96 79 121 218 232
Columns 316-324: 233 74  0 11  24 14  14 13  11
.....
Columns 397 through 400 : 24  8  13 15
```



Kaitannya dengan Frekuensi?

- Frekuensi dapat dilihat perbaris dan perkolom atau perbidang

