

Image Processing **(Pengolahan Citra)**

Semester Genap Tahun 2019-2020

Jam 08:00 s.d. 10:30

Pengajar: Mohammad Agung Wibowo, M.Kom.

STT Nurul Fikri

Slides by: Prof. Dr. Aniati Murni Arymurthy (FASILKOM UI)

Topics

- Sistem Visual Manusia
- Data Acquisition
- Digital Image
- Pixel Neighbors
- Matrix Operation
- Komponen Sistem Pengolahan Citra
- World to Image System Transformation
- Radiometric and Geometric Distortion

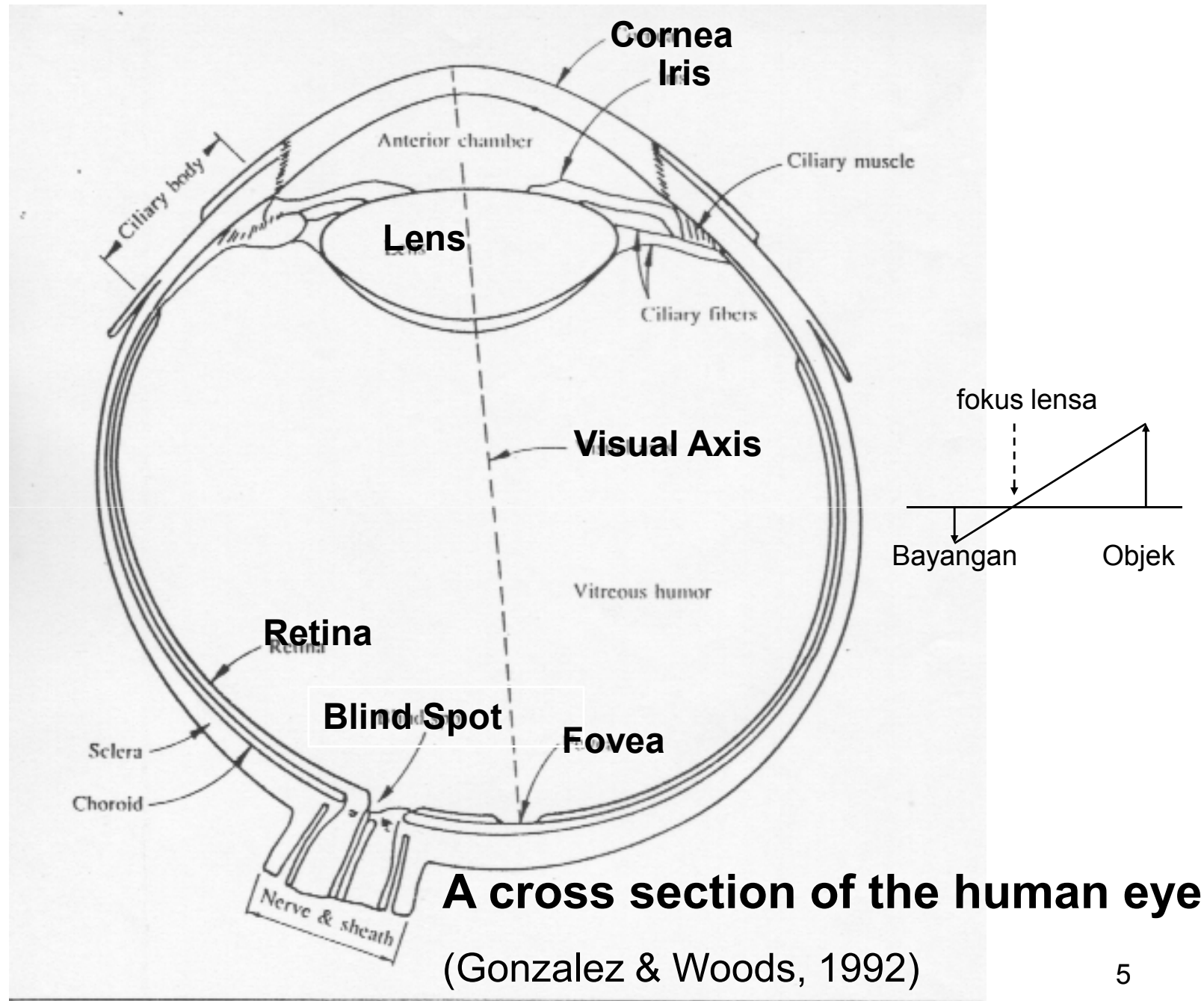
Topic 1:

Sistem Visual Manusia

Sistem Visual Manusia

(Sumber: Gonzalez & Woods, 2008)

- ***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**.



Fovea and Blind Spot

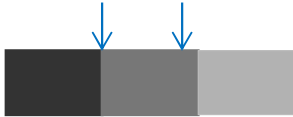
- *Fovea* di bagian *retina* terdiri dari dua jenis *receptor*:
 - Sejumlah **cone receptor**, sensitif terhadap warna, visi cone disebut **photopic vision** atau bright light vision
 - Sejumlah **rod receptor**, memberikan gambar keseluruhan pandangan dan sensitif terhadap iluminasi tingkat rendah, 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


Brightness

- *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 **photocopic** (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.

Mach Band and Simultaneous Contrast

- *Kepekaan dalam perbedaan 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 yang diarahkan ke sinar matahari.

Topic 2:

Data Acquisition

Data Acquisition

- Sistem Perekaman Citra
 - Citra yang diperoleh tergantung:
 - karakteristik dari **obyek yang direkam** (pemandangan di pantai atau pemandangan di pegunungan); dan
 - kondisi **variabel dari sistem perekaman** (dengan kamera sensor optik atau sensor radar);
 - Citra merupakan gambaran tentang karakteristik suatu obyek menurut kondisi variabel tertentu;
 - Contoh:
 - bandingkan hasil foto manusia dengan kamera / sensor optik (manusia seperti yang kita lihat) dan dengan sensor sinar X (hanya kerangkanya);
 - bandingkan hasil foto pemandangan di pantai (keindahan laut) dan di daerah pegunungan (keindahan pepohonan).

Gelombang Electromagnetic

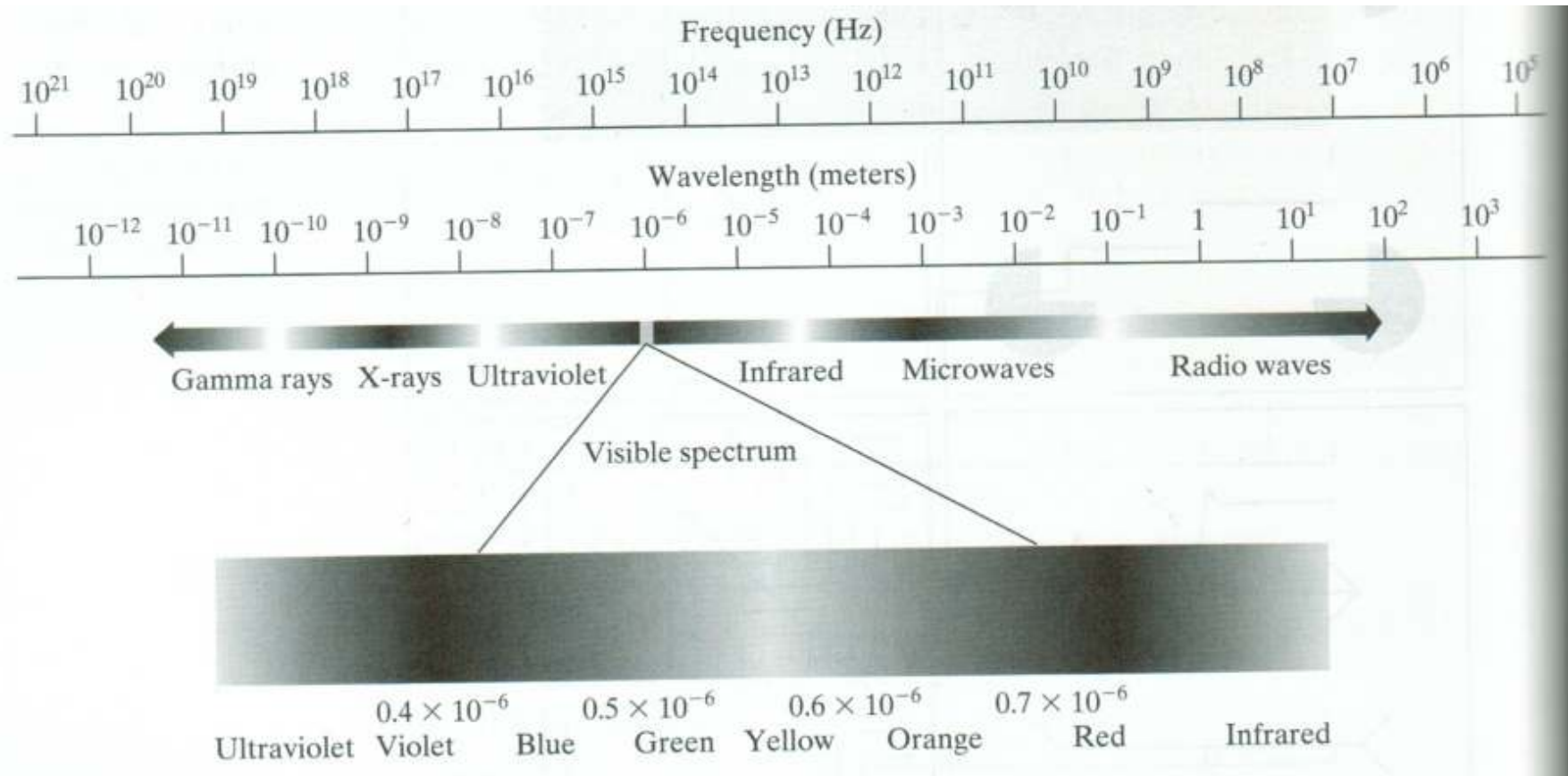


FIGURE 2.10 The electromagnetic spectrum. The visible spectrum is shown zoomed to facilitate explanation, but note that the visible spectrum is a rather narrow portion of the EM spectrum.

Wavelength = $c / \text{Frequency}$, dimana c = speed of light (2.998×10^8 m/s)
(Sumber: Gonzalez & Woods, 2008)

Pengertian Sensor Aktif dan Pasif

- Sensor Pasif

- Sistem sensor yang merekam data obyek **tanpa mengirimkan enersi**, sumber enersi bisa dalam bentuk sinar matahari, sinar lampu, dlsb.nya;
- Contoh: sensor optik pada kamera foto, sensor optik pada sistem indera.

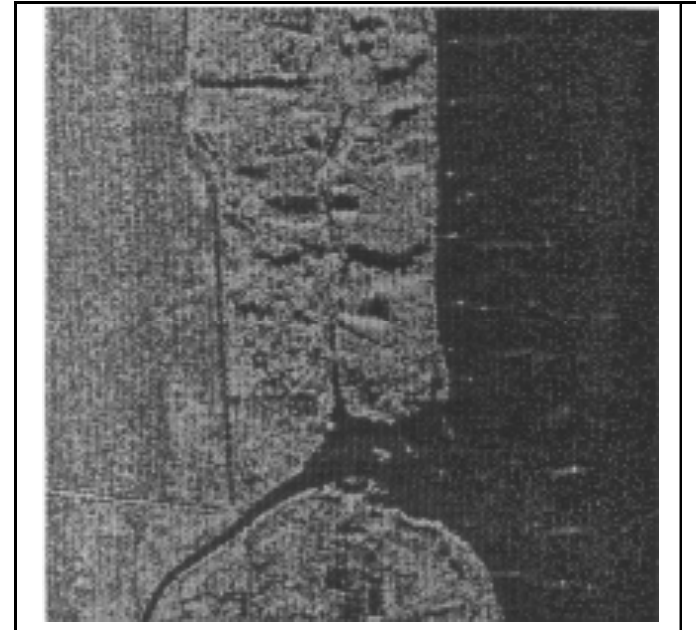
- Sensor Aktif

- Sistem sensor yang merekam data obyek dengan **mengirimkan dan menerima pantulan dari enersi yang dikirim ke arah obyek**, enersi yang dikirim bisa berupa gelombang pendek, sinar X, gelombang suara, dlsb.nya;
- Contoh: sensor Rontgen untuk foto thorax, sensor gelombang pendek pada sistem radar, sensor ultrasound pada sistem USG.

Citra Optik dan Citra Radar



Citra Sensor Optik (Pasif)



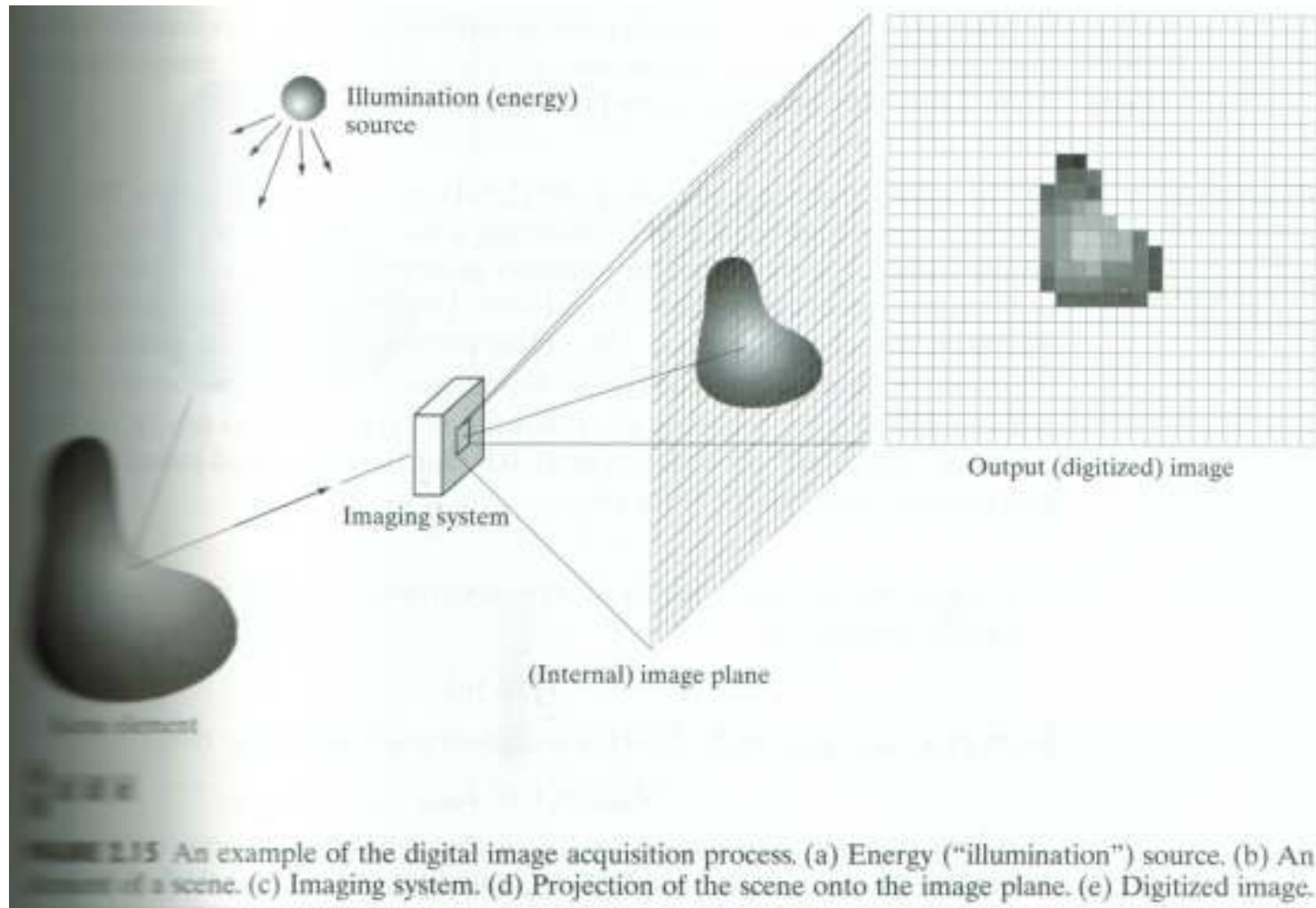
Citra Sensor SAR (Aktif)

(Source of Images: Bakosurtanal RI)

Topic 3:

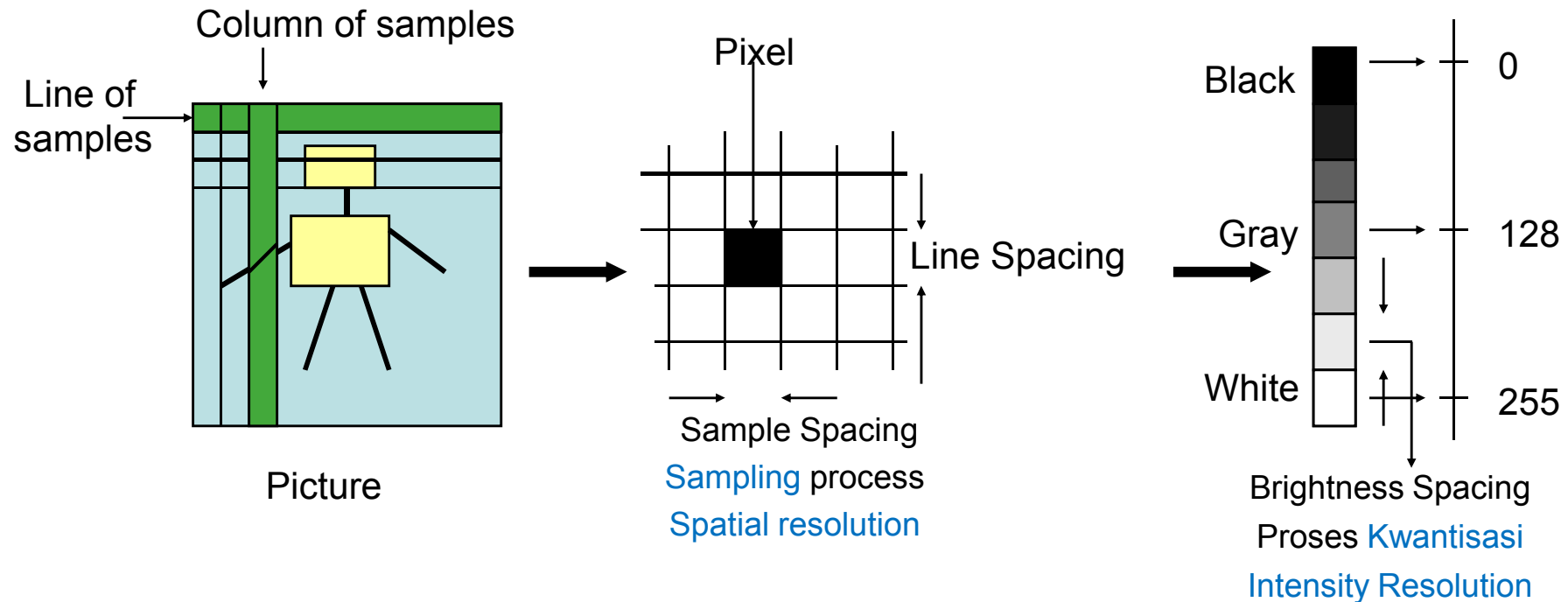
Digital Image

Digital Image



(Sumber: Gonzalez & Woods, 2008)

Digitizing an image



Intensity dapat disimpan dalam:

1 byte = 256 tingkat keabuan

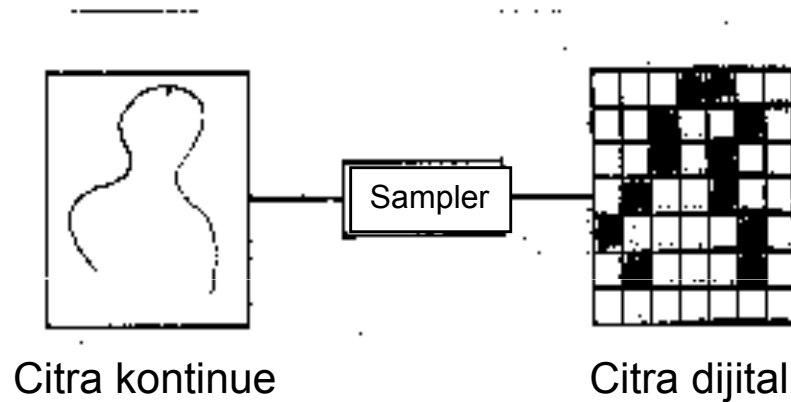
$\frac{1}{2}$ byte = 16 tingkat keabuan
16

(Sumber: Dimodifikasi dari Castleman, 1996)

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.

Pengertian Citra Digital



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

Matriks citra dengan obyek angka 5



Resolusi spasial :

Tinggi (16 x 16)

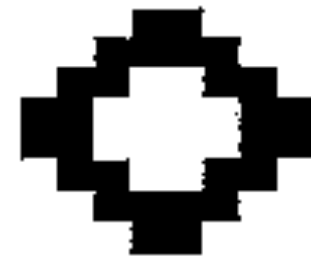


Rendah (8 x 8)



Resolusi intensitas :

Tinggi (4)



Rendah (2)

Resolusi Spasial dan Resolusi Kecemerlangan

- Resolusi Citra
 - Dikenal: **resolusi spasial** (spatial resolution) dan **resolusi kecermerlangan** (brightness resolution), berpengaruh pada besarnya informasi citra yang hilang.
 - Resolusi spasial: halus / kasarnya pembagian kisi-kisi baris dan kolom. Transformasi citra kontinue ke citra digital disebut digitisasi (**sampling**). Hasil digitisasi dengan jumlah baris 256 dan jumlah kolom 256 - resolusi spasial 256 x 256.
 - Resolusi 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 Spatial



Resolusi Spatial = 300 dpi (dot per inch)

72 dpi (dot per inch)

(Sumber: Gonzalez & Woods, 2008)

Resolusi Intensitas



Resolusi Intensitas = 16



Resolusi Intensitas = 4

(Sumber: Gonzalez & Woods, 2008)

Topic 4:

Pixel Neighbors

Hubungan antara piksel dan pengertian *connectivity*

4-tetangga piksel P

	X				2		
X	P	X		2	1	2	
	X		2	1	0	1	2
				2	1	2	
					2		

Intensity = 1 4-tetangga

8-tetangga piksel P

X	X	X	2	2	2	2	2
X	P	X	2	1	1	1	2
X	X	X	2	1	0	1	2
			2	1	1	1	2
			2	2	2	2	2

Intensity = 1 8-tetangga

Connectivity/Konektivitas: 4-tetangga atau 8-tetangga dengan kriteria gray level yang sama, misal: sama-sama 0 atau sama-sama 1 atau sama-sama bedanya tidak lebih dari 5 tingkat keabuan, dlsb.nya

Labelling of connected component

Dengan kriteria piksel sama-sama bernilai 1: (a) dengan aturan 4-tetangga dan (b) dengan aturan 8-tetangga:

0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0

(a)

diperoleh 2 segmen

0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	1
0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0

(b)

diperoleh hanya 1 segmen

Distance Measures

- Koordinat $P(x,y)$ dan $Q(s,t)$
- Distance Measures $D(P,Q)$:
 - Euclidean Distance:
 - $D(P,Q) = \{(x - s)^2 + (y - t)^2\}^{1/2}$
 - City-block Distance:
 - $D(P,Q) = |x - s| + |y - t|$
 - dan banyak distance measure lainnya

Topic 5:

Matrix Operation

Operasi Aritmetik / Logik pada Citra

- *Operasi Aritmetik antara dua citra*
 - Operator: $+$ $-$ $*$ $/$
 - Band ratio antara citra sensor optik Landsat TM band 3 dan band 4 dapat digunakan untuk analisis vegetasi, begitu juga ratio antara selisih dan jumlahnya.
 - Operasi selisih antara dua citra temporal dapat digunakan untuk deteksi perubahan wilayah (object sama \rightarrow selisih 0, object tidak sama \rightarrow selisih $\neq 0$).

Operasi Aritmetik pada Citra

- Operasi selisih antara dua citra temporal dapat digunakan untuk deteksi perubahan wilayah.



Jakarta in 1994



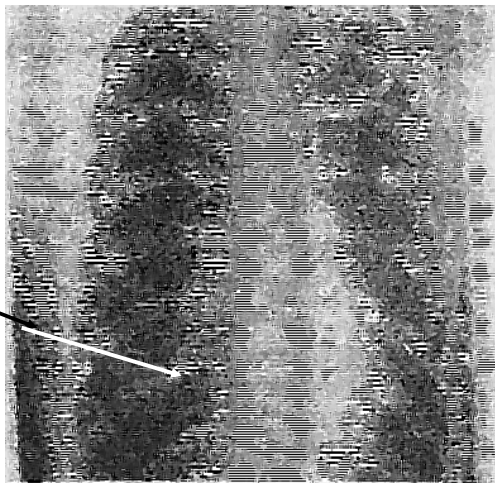
Jakarta in 1998

(LAPAN RI, 2001)

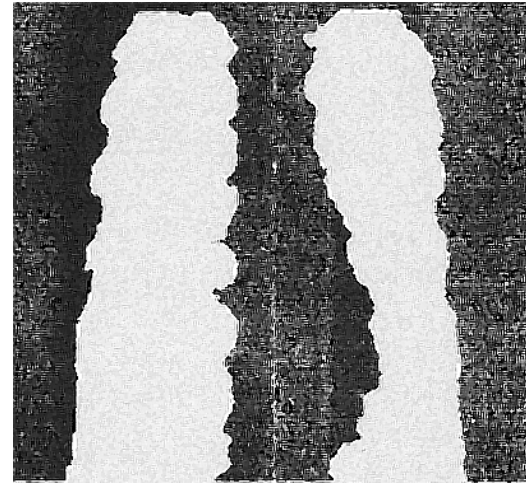
Operasi Logik pada Citra

- *Operasi Logik antara dua citra*
 - Operator: OR AND NOT
 - Masking (AND) operation dapat digunakan untuk memisahkan antara bagian obyek dan bagian latar belakang pada citra biomedik.

Object of interest
'jaringan paru'



Mask dengan
operasi AND



Topic 6:

Komponen Sistem Pengolahan Citra

Komponen Dasar Sistem Pengolahan Citra (1)

- *Pembentukan Citra (Image Sensor)*
 - Sensor yang sensitif terhadap gelombang EM menghasilkan sinyal listrik sesuai dengan energi yang diterima. Analog-to-Digital Converter / Digitizer akan mengubah sinyal listrik tersebut menjadi bentuk digital.
 - Scanner yang menerima masukan dalam bentuk analog (dokumen, peta, foto) akan mengubah menjadi data dalam bentuk digital.
 - Digital Camera.
- *Specialized Image Processing Hardware*
 - Contoh: Arithmetic Logic Unit yang dapat memproses citra secara parallel (pixel oriented)
- *Image Processing Software*
 - Contoh: MATLAB

Komponen Dasar Sistem Pengolahan Citra (2)

- *Computer*
 - *General purpose computer*
- *Mass Storage*
 - *Short term storage (during processing - memory)*
 - *On-line storage (fast recall – magnetic disk)*
 - *Archival storage (infrequent access – compact disc)*
- *Image Display*
 - *Monitor (soft copy)*
- *Hardcopy*
 - *Macam-macam Printers, Film Writer/Camera, Plotter*
 - *Digital Units (optical and CD ROM disk)*

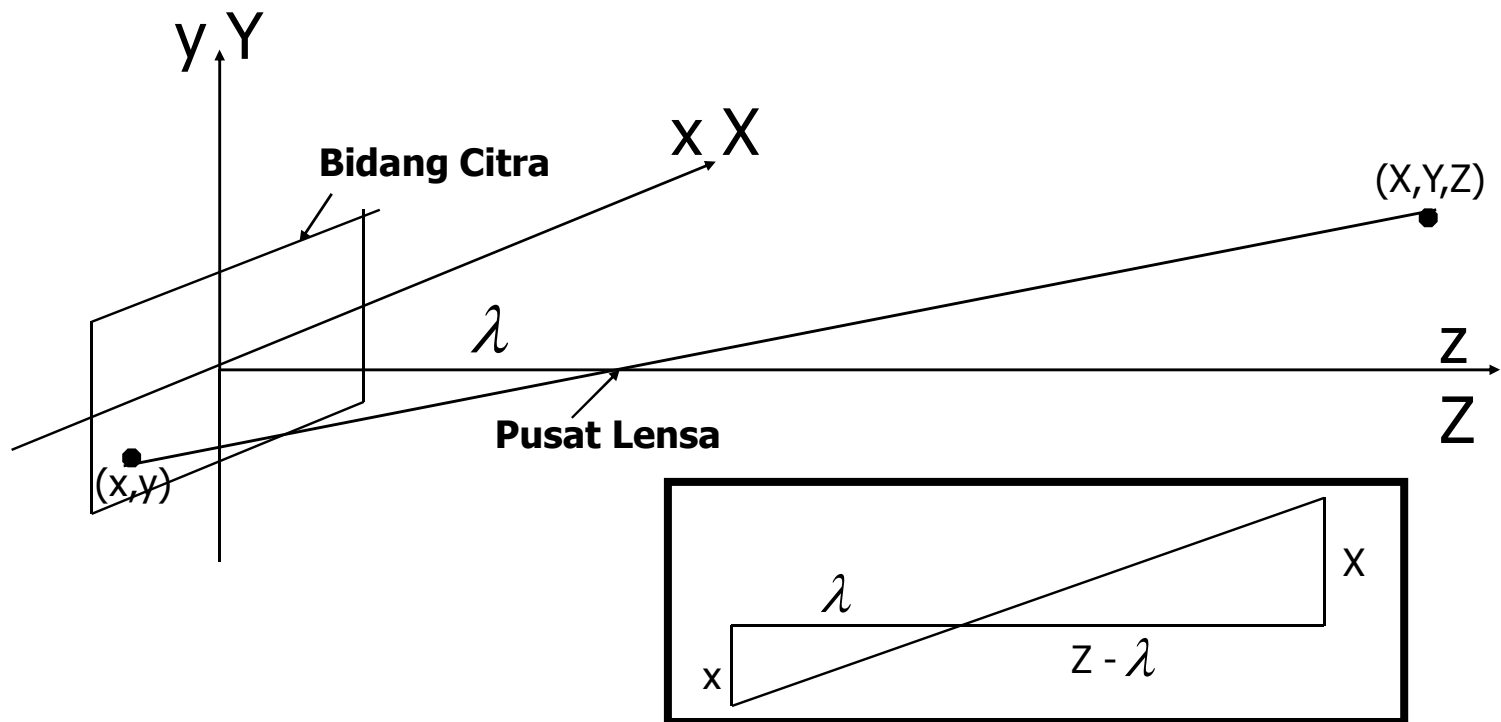
Komponen Dasar Sistem Pengolahan Citra (3)

- *Networking*
 - Data citra berukuran besar (perlu tempat simpan yang besar serta waktu proses yang lama).
 - Issue penting pada komunikasi: kompresi citra.
 - Issue penting pada pemrosesan citra: proses paralel.

Topic 7:

World to Image System Transformation

World and Camera Coordinate System



Camera coordinate system (x,y,z) dan World coordinate system (X,Y,Z)

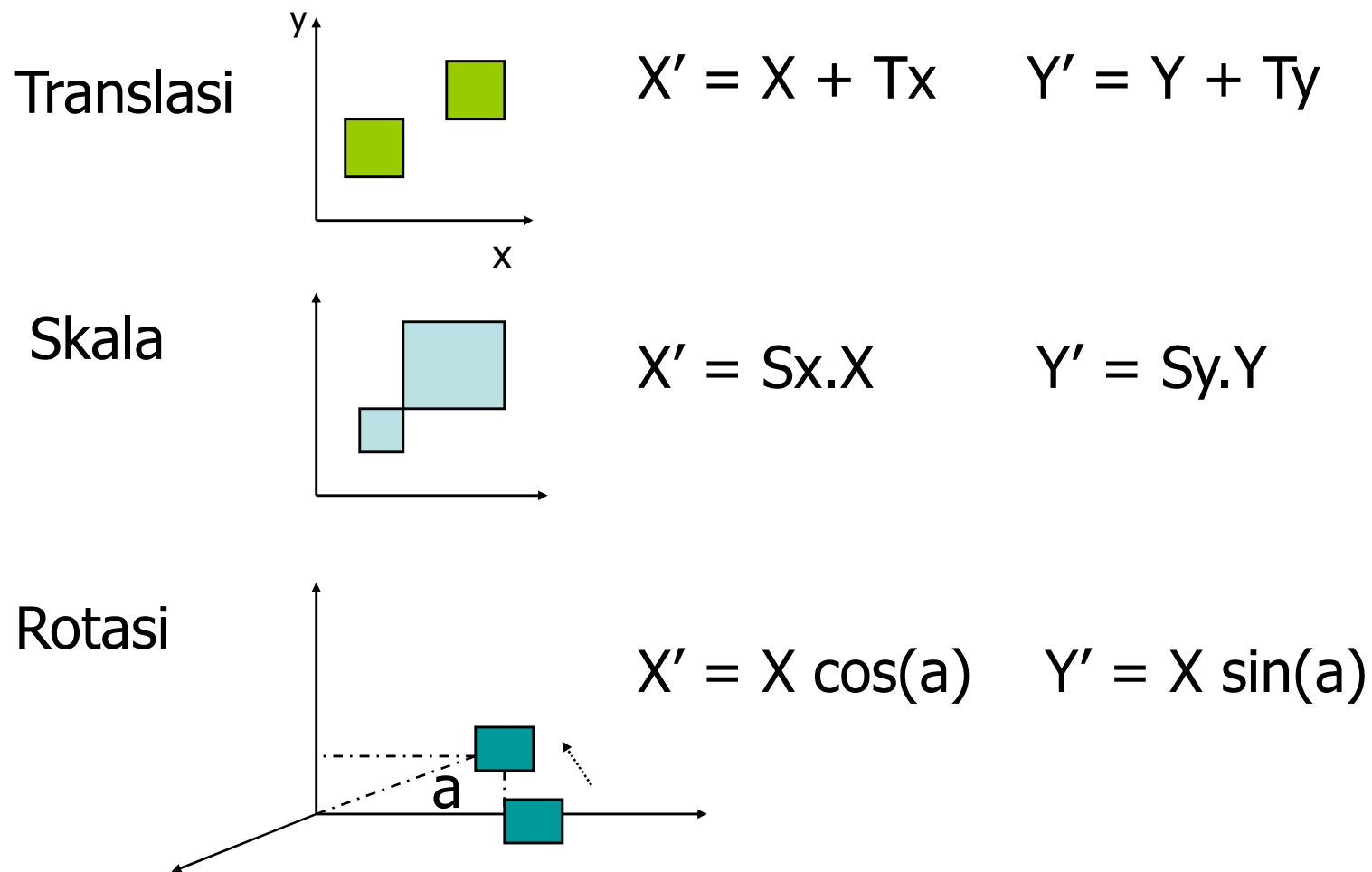
- *Bila kedua sistem sumbu (camera dan world) dihimpitkan, maka obyek (pada ruang world) dan bayangan (pada bidang citra) akan membentuk segitiga sama dan sebangun, sehingga:*

$$-x / \lambda = X / (Z - \lambda)$$

dan

$$x = \lambda X / (\lambda - Z); \quad y = \lambda Y / (\lambda - Z); \quad z = \lambda Z / (\lambda - Z).$$

Transformasi Geometrik



Homogeneous Coordinate System

- *Diperlukan suatu representasi yang seragam (homogeneous representation)*
 - Untuk memungkinkan dilakukannya transformasi komposit secara efisien
 - Untuk menyimpan faktor normalisasi koordinat akibat transformasi yang dilakukan berturut-turut
- *Matrix Transformasi*

Translasi	Skala	Rotasi
$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$

Perspective Transformation

- Matrix transformasi perspektif

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{vmatrix}$$

- Tanda minus artinya gambar obyek terbalik, λ adalah jarak pusat lensa, dan $1/\lambda$ merupakan faktor skala.
- Koordinat obyek pada *camera system* dapat diturunkan dari koordinat obyek pada *world system* dengan menggunakan transformasi perspektif.

Cartesian dan Homogeneous coordinat system

- Koordinat obyek pada *world system* dalam bentuk sistem koordinat Cartesian (W_c) dan *homogeneous coordinate system* (W_h)

$$W_c = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$W_h = \begin{bmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{bmatrix}$$

k adalah *non-zero constant*, biasanya diambil $k = 1$.

- Koordinat obyek pada *camera system* : C_c dan C_h masing-masing untuk sistem koordinat Cartesian dan *homogeneous coordinate system* (next slide)

World to Image transformation

- Perhitungan koordinat homogeneous sistem kamera :

$$C_h = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1/\lambda & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ k \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} kX \\ kY \\ kZ \\ -(kZ/\lambda)+k \end{vmatrix}$$

- Koordinat Cartesian $C_c (x,y,z)$ diperoleh dengan membagi koordinat $C_h (x_h,y_h,z_h)$ dengan faktor koordinat ke empat, dalam hal ini yaitu:

$$-(kZ/\lambda)+k$$

Camera Basic Mathematical Model

- Koordinat Cartesian camera system

$$C_c = \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} kX/(-(kZ/\lambda)+k) \\ kY/(-(kZ/\lambda)+k) \\ kZ/(-(kZ/\lambda)+k) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \lambda X/(\lambda - Z) \\ \lambda Y/(\lambda - Z) \\ \lambda Z/(\lambda - Z) \end{vmatrix}$$

- **Hubungan antara (x,y,z) dan (X,Y,Z) diatas disebut sebagai Camera Basic Mathematical Model**

Image to World Transformation

- Suatu titik obyek $(x,y,0)$ terletak di bidang citra, dengan camera system dan world system berhimpit dan bidang citra terletak pada $Z = 0$, maka koordinat homogeneous dari obyek tersebut pada world system adalah:

$$W_h = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\lambda & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} kx \\ ky \\ 0 \\ k \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} kx \\ ky \\ 0 \\ k \end{vmatrix}$$

- Titik (x,y) merupakan titik proyeksi seluruh titik-titik 3-D yang terletak pada garis yang melalui $(x,y,0)$ dan $(0,0,\lambda)$.

World and Camera Coordinate System

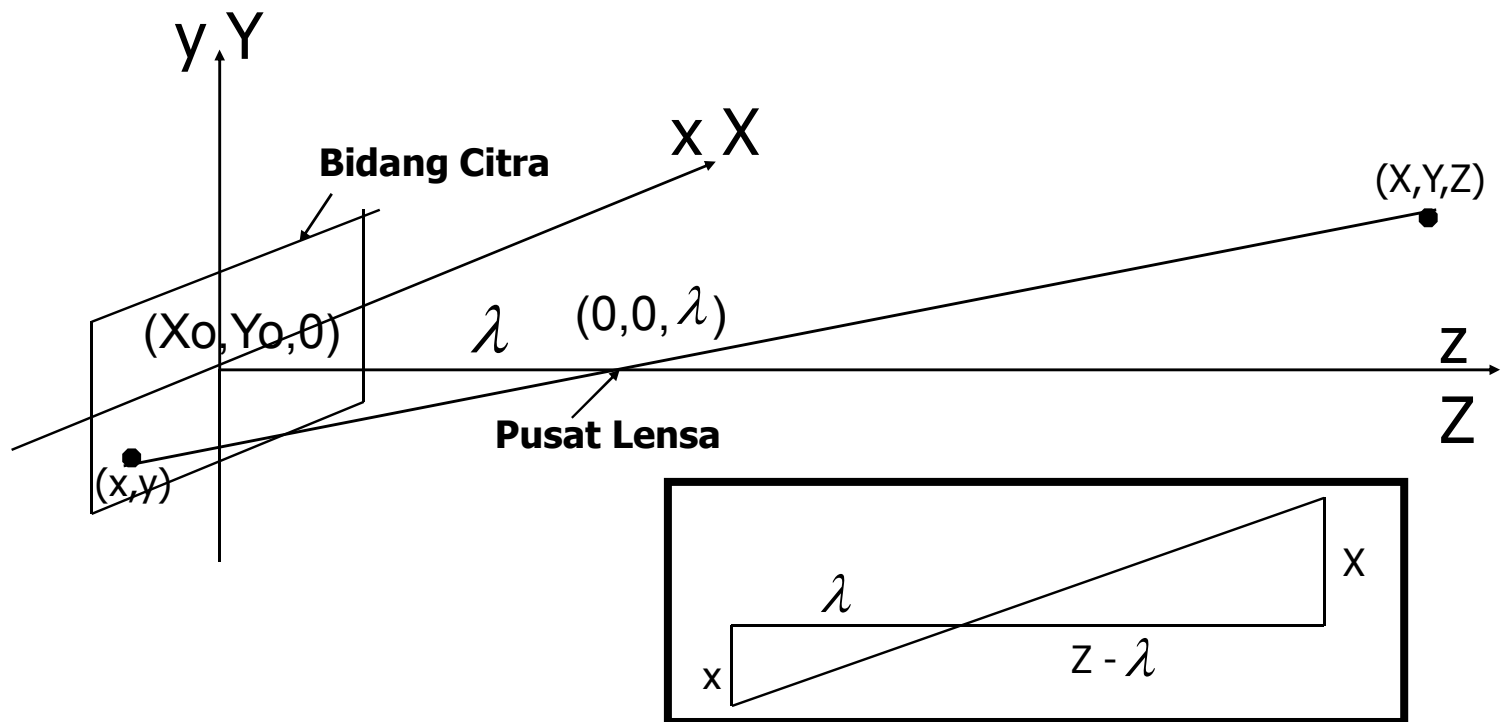


Image to World Transformation

- Persamaan garis yang melalui titik $(x,y,0)$ dan $(0,0,\lambda)$ adalah: (lihat penurunan dari rumus segitiga sebangun yang menghasilkan hubungan antara *camera* dan *world system*)

$$X = (x/\lambda).(\lambda - Z)$$

$$Y = (y/\lambda).(\lambda - Z)$$

- Dengan demikian kita tidak dapat menentukan titik 3-D hanya dari proyeksi titik tersebut pada bidang citra tanpa diketahuinya informasi kedalaman (koordinat Z) pada ruang 3-D tersebut (lihat slide berikut)

World and Camera Coordinate System

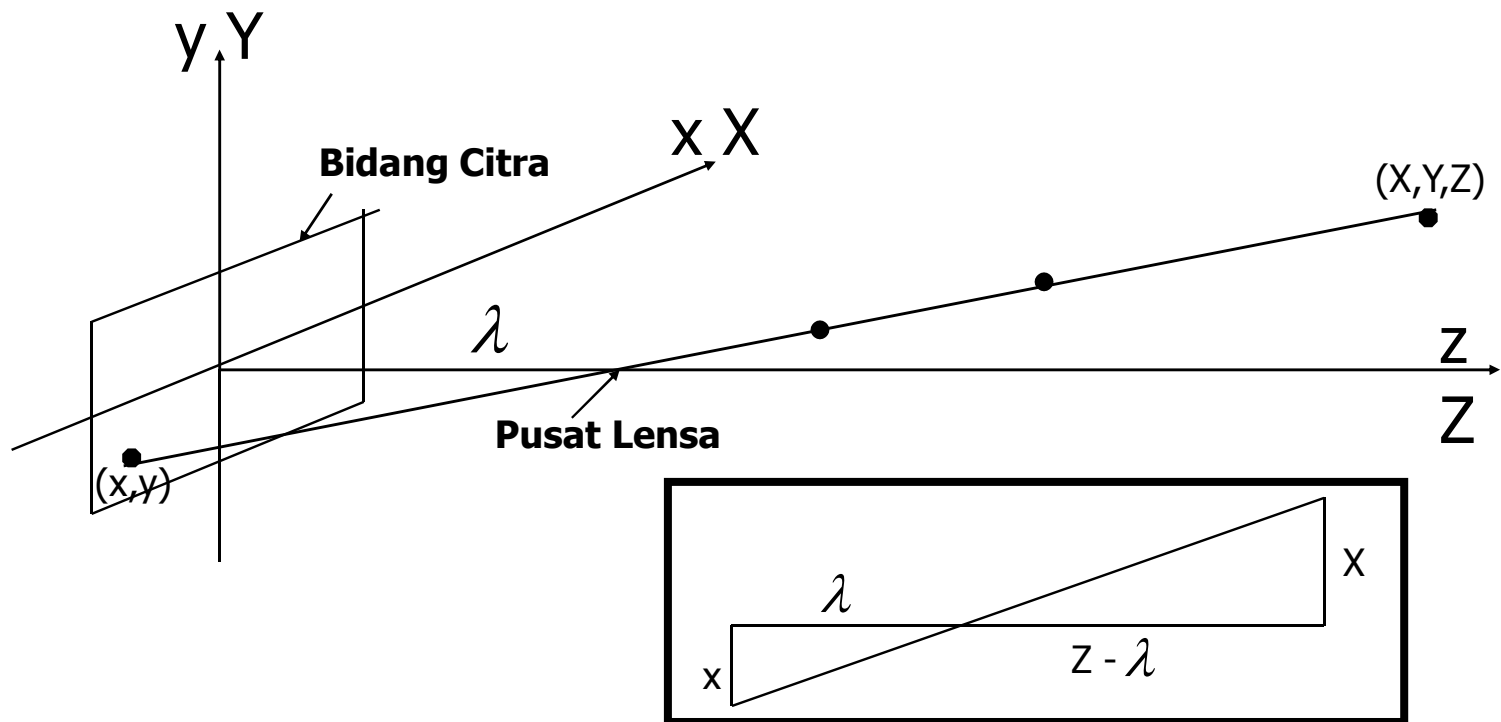


Image to World Transformation

- Ambil suatu titik pada citra (x,y,z) dimana z adalah variabel bebas yang menyatakan kedalaman atau jarak
- Maka:

$$C_h = \begin{vmatrix} kx \\ ky \\ kz \\ k \end{vmatrix} \quad W_h = \begin{vmatrix} kx \\ ky \\ kz \\ (kz/\lambda) + k \end{vmatrix}$$

- Titik 3-D nya adalah:

$$X = kx / \{(kz/\lambda) + k\}$$

$$Y = ky / \{(kz/\lambda) + k\}$$

$$Z = kz / \{(kz/\lambda) + k\}$$

$$X = \lambda x / (\lambda + z)$$

$$Y = \lambda y / (\lambda + z)$$

$$Z = \lambda z / (\lambda + z)$$

Topic 8:

Radiometric and Geometric Distortion

Jenis Distorsi Pada Citra

- **Distorsi Geometrik**
 - Merupakan distorsi spatial
 - Penyebabnya antara lain adalah letak dan arah serta adanya gerakan perekam citra atau dari objek yang direkam
 - Juga bisa dari internal sensor
- **Distorsi Radiometrik**
 - Merupakan distorsi pada distribusi intensitas yang tidak tepat
 - Penyebabnya antara lain adalah keadaan atmosfer yang berbeda (ada kabut), sehingga objek yang sama memberikan respon gray level yang berbeda
 - Juga bisa dari internal sensor (shading)

Distorsi Geometrik

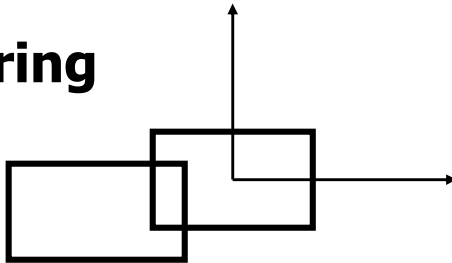
- Bila distorsi tidak kompleks (sederhana), koreksi juga dapat dilakukan dengan mudah: centering (koreksi dengan translasi), size (koreksi dengan skala), skew (koreksi dengan rotasi). Lihat matriks transformasi pada next slide.
- Koreksi bila distorsi bersifat kompleks: perlu *image registration/rectification*, misal dengan *bilinear transformation* (atau mapping lainnya) dan *least square method* (contoh pada slide-slide berikut):

$$X' = aX + bY + cXY + d$$

$$Y' = eX + fY + gXY + h$$

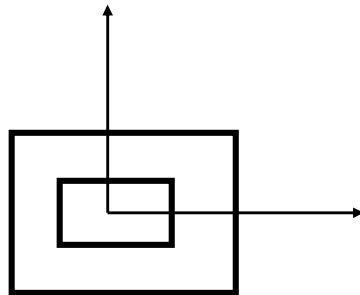
Koreksi Geometrik – Transformasi 2D

Centering



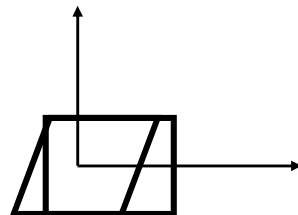
$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & T_x \\ 0 & 1 & 0 & T_y \\ 0 & 0 & 1 & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Size



$$\begin{vmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Skew

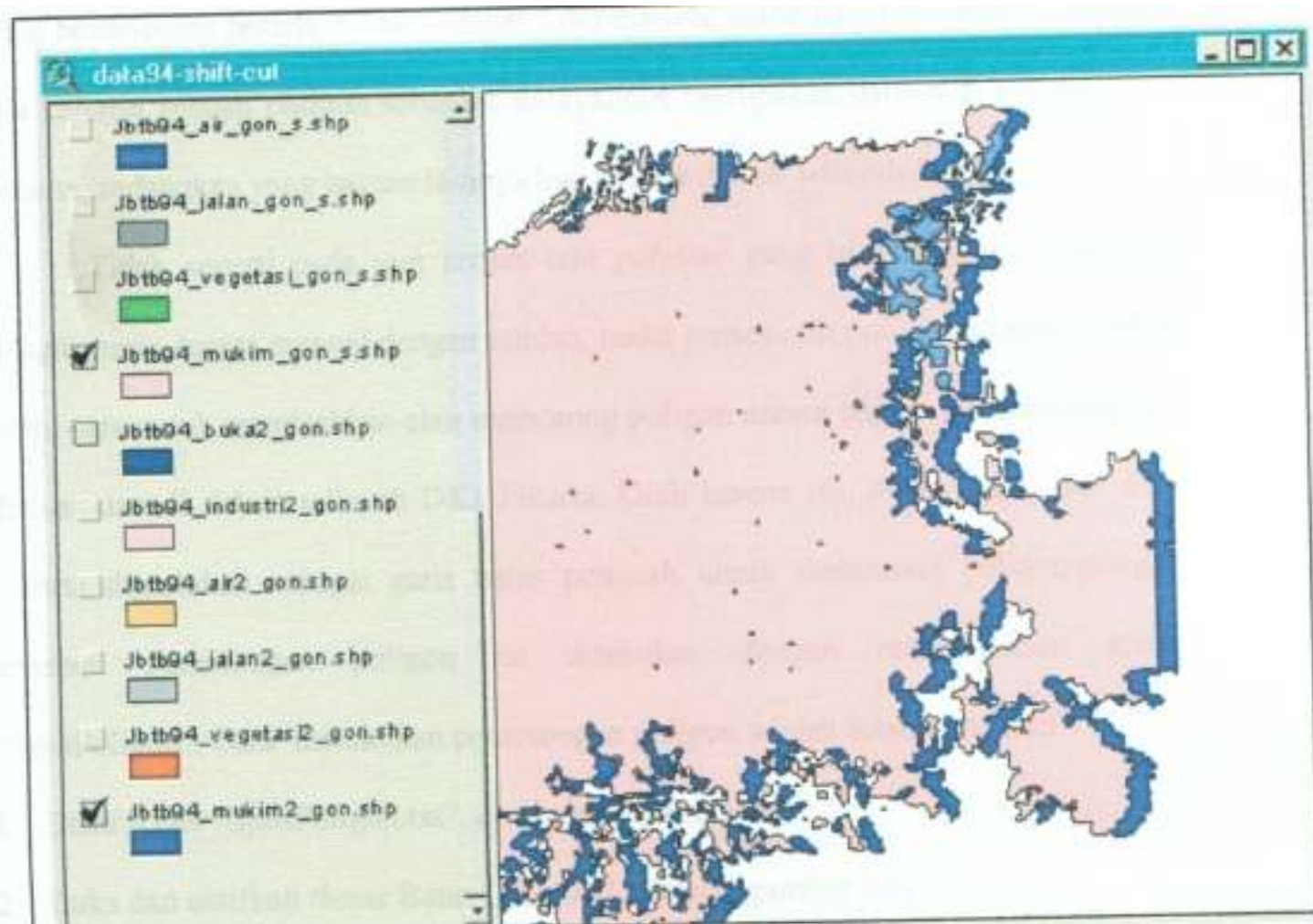


$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A & 0 \\ 0 & -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

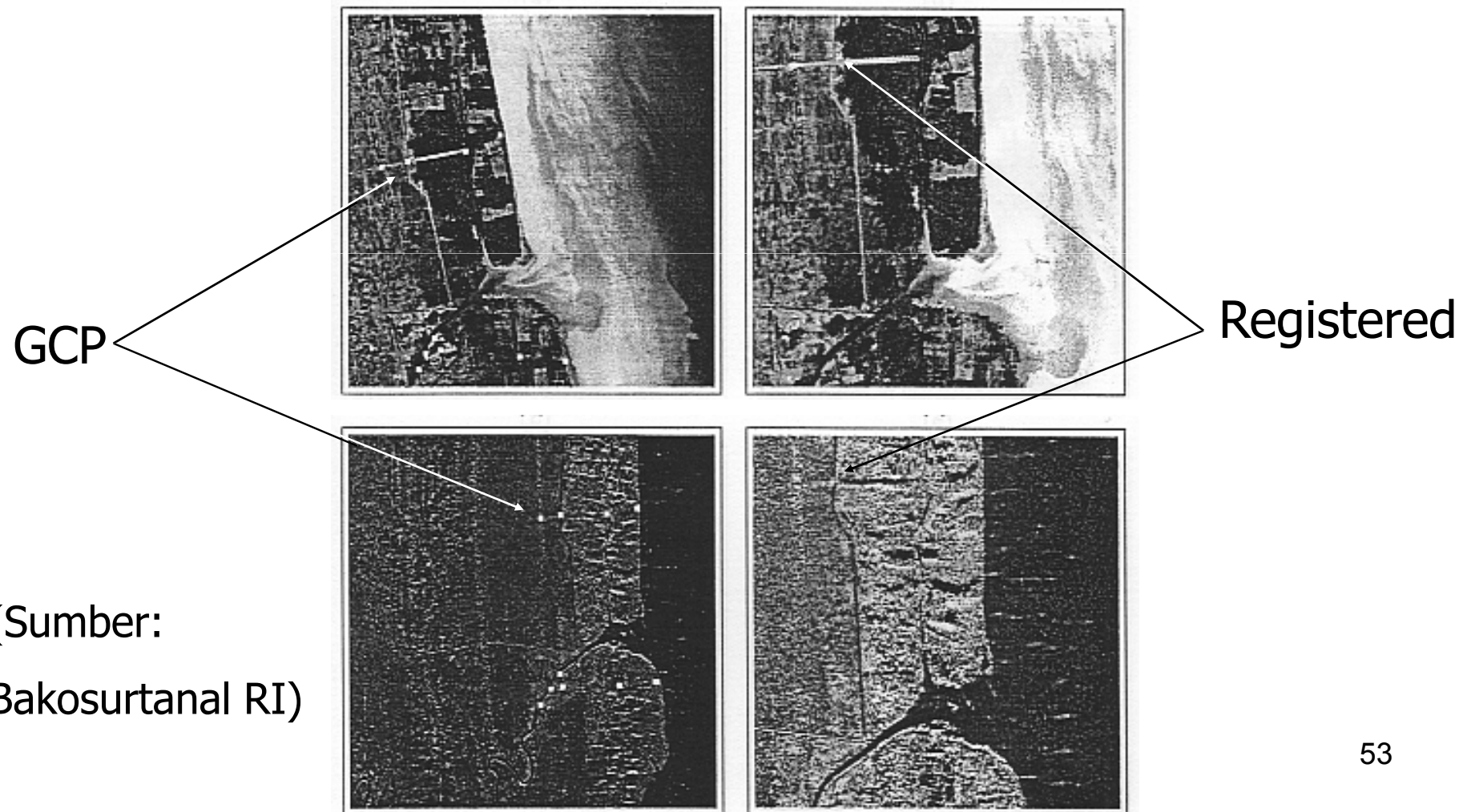
Contoh koreksi yang sederhana

Centering – Koreksi dengan translasi

(Source: Ira Hastitu *et. al*, 2002)



Koreksi Yang Kompleks – Image Registration

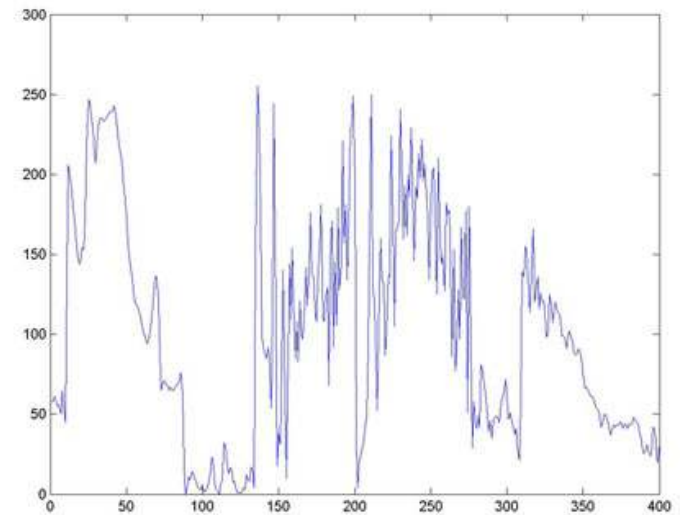
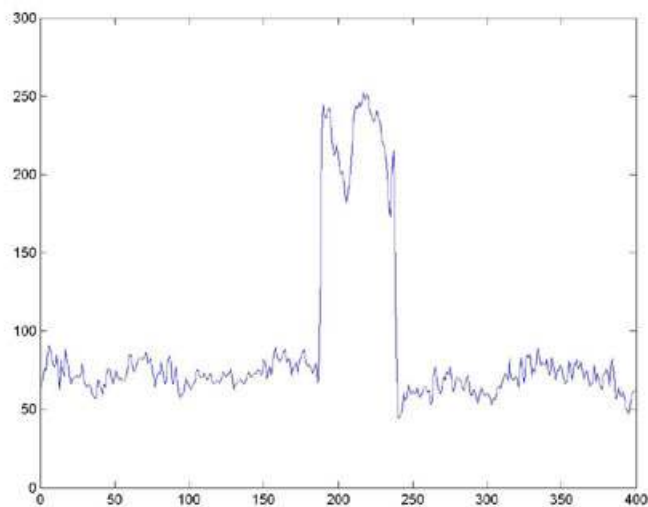


Distorsi Radiometrik

- Koreksi dilakukan dengan teknik filtering
- Distorsi bisa dalam bentuk distorsi low frequency
- Distorsi juga bisa dalam bentuk distorsi high frequency

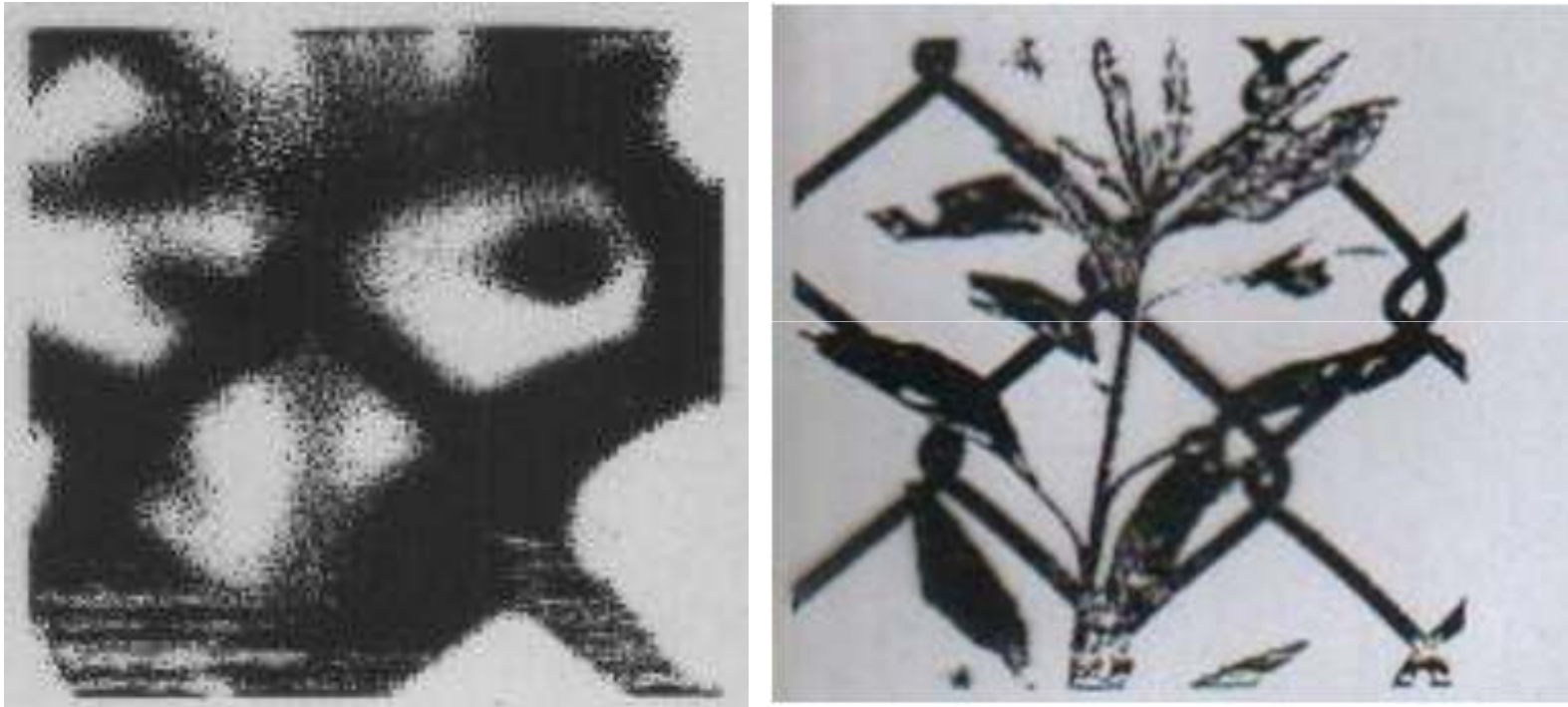
Frekwensi tinggi dan rendah pada citra

- Frekuensi dapat dilihat per baris dan per kolom atau per bidang



Distorsi Radiometrik

Distorsi bersifat frekwensi rendah



Citra foto tangkai daun (MSU, 1990): distorsi radiometrik
blurring – filtering dengan high pass filter

Distorsi Radiometrik

Distorsi bersifat frekwensi tinggi



Citra satelit MSS (Bakosurtanal RI): distorsi radiometrik
striping – filtering dengan low pass filter

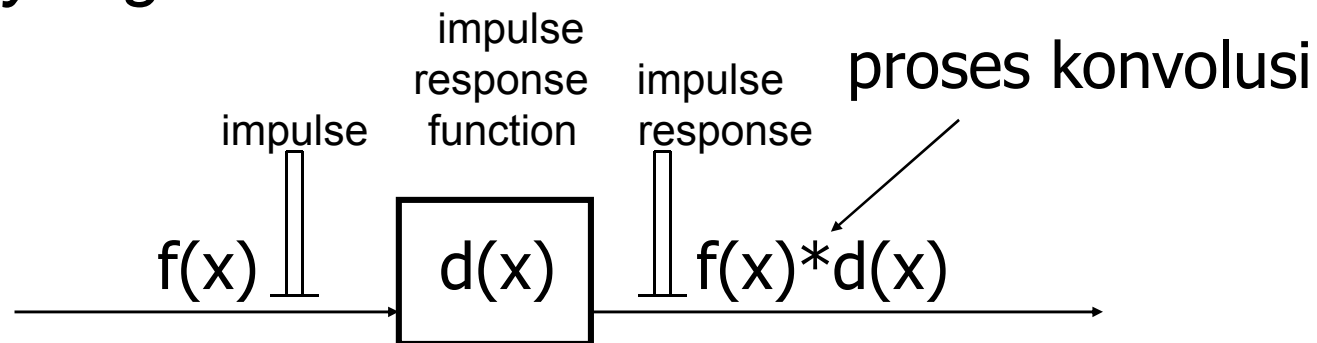
Fungsi Impulse

- Fungsi Impulse
 - Fungsi Delta Dirac pada domain kontinue dan Fungsi Delta Kronecker pada domain diskrit $d(x)$ yang mempunyai nilai 1 pada suatu x dan mempunyai nilai 0 pada x lainnya.
- Fungsi Delta



Impulse Response

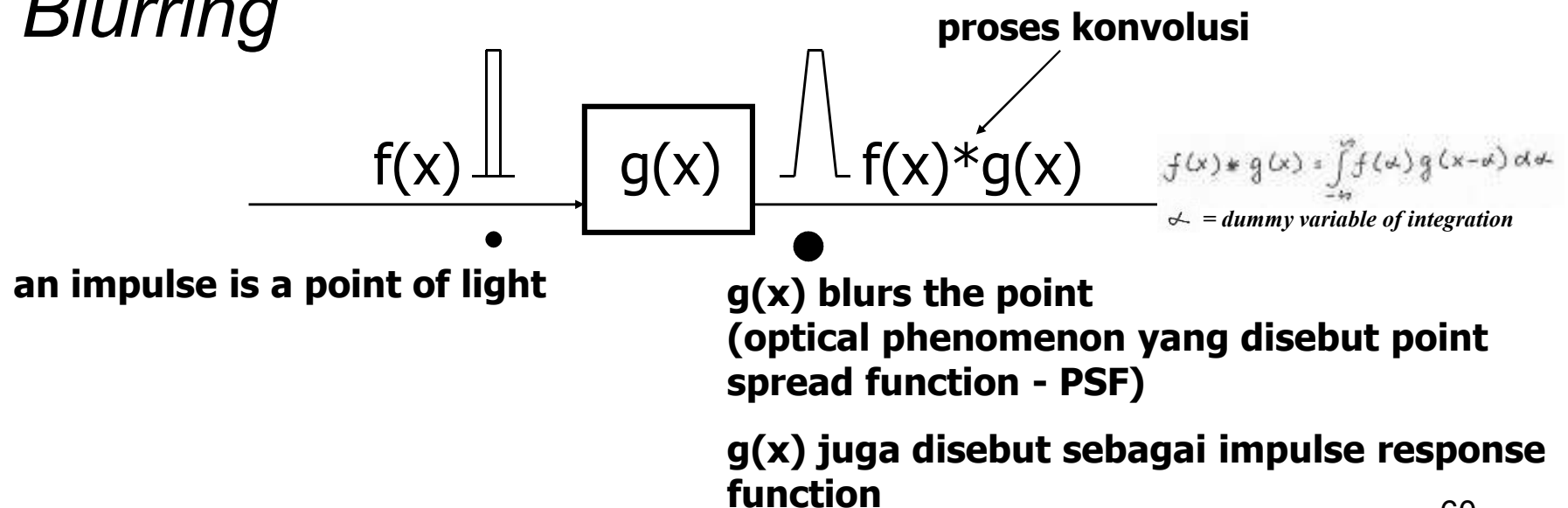
- *Impulse Response*
 - Menurut teori filtering, pada sistem yang ideal, sinyal yang masuk (impulse) sama dengan sinyal yang keluar (impulse response). Hal tersebut dapat digambarkan dengan transfer function dalam bentuk fungsi Delta Dirac.
- *Sistem yang ideal*



POINT SPREAD FUNCTION (PSF) (FUNGSI SEBARAN TITIK)

- *Sistem yang tidak ideal*
 - Pada sistem yang tidak ideal, sinyal yang masuk mengalami degradasi atau penurunan kualitas.

- *Blurring*

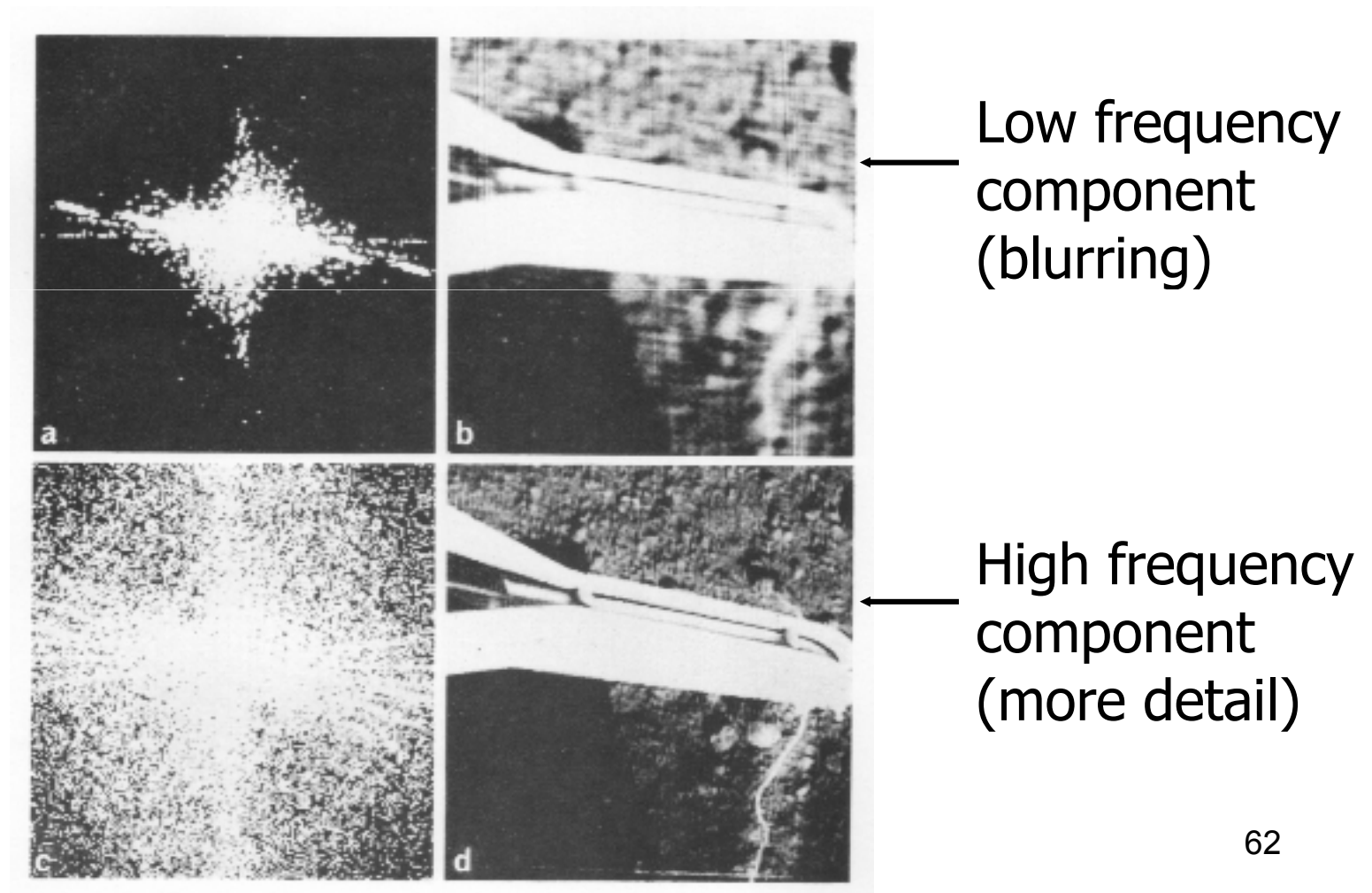


Fourier Transform (akan dipelajari kemudian)

- *Fourier Transform*
 - Akan dipelajari secara khusus pada topik Image Transform
 - Mengubah representasi citra dari domain spasial ke domain frekwensi
 - Sebaliknya Inverse Fourier Transform akan mengubah representasi citra dari domain frekwensi ke domain spasial
 - **Memudahkan proses konvolusi dari bentuk integral menjadi bentuk perkalian biasa**

Transformasi Fourier dari Citra Blur dan Citra Sharp

(Sumber: Gonzales & Woods, 1992)



The End of Presentation