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

- Image Registration
- Convolution versus Correlation

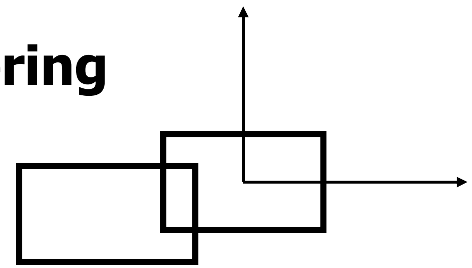
Topic 1:
Image Registration

Geometric Distortion

- 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
- Bila distorsi tidak kompleks (sederhana), koreksi juga dapat dilakukan dengan mudah: **centering** (koreksi dengan translasi), **size** (koreksi dengan skala), **skew** (koreksi dengan rotasi)

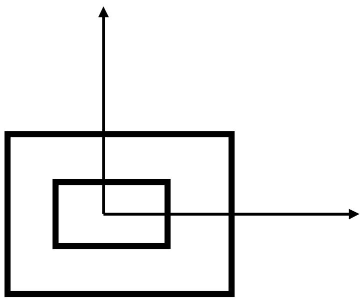
Koreksi Geometrik Sederhana (Transformasi 2D)

Centering



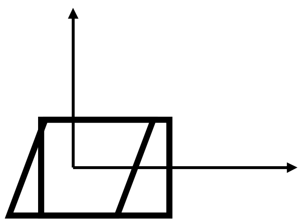
$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & Tx \\ 0 & 1 & 0 & Ty \\ 0 & 0 & 1 & Tz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Size



$$\begin{vmatrix} Sx & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Sy & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Sz & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Skew

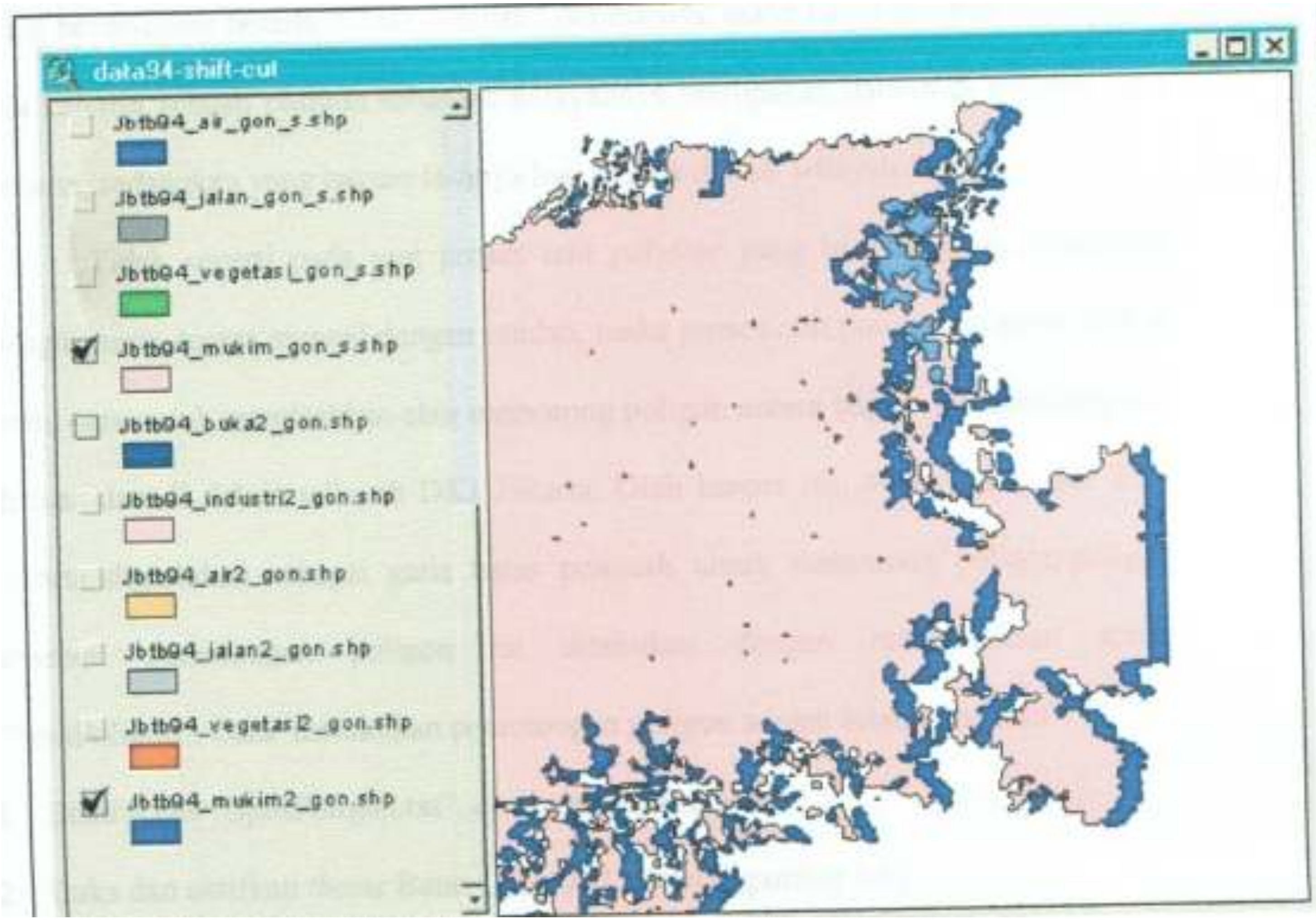


$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos A & \sin A & 0 \\ 0 & -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Contoh koreksi yang sederhana

Centering – Koreksi dengan translasi

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

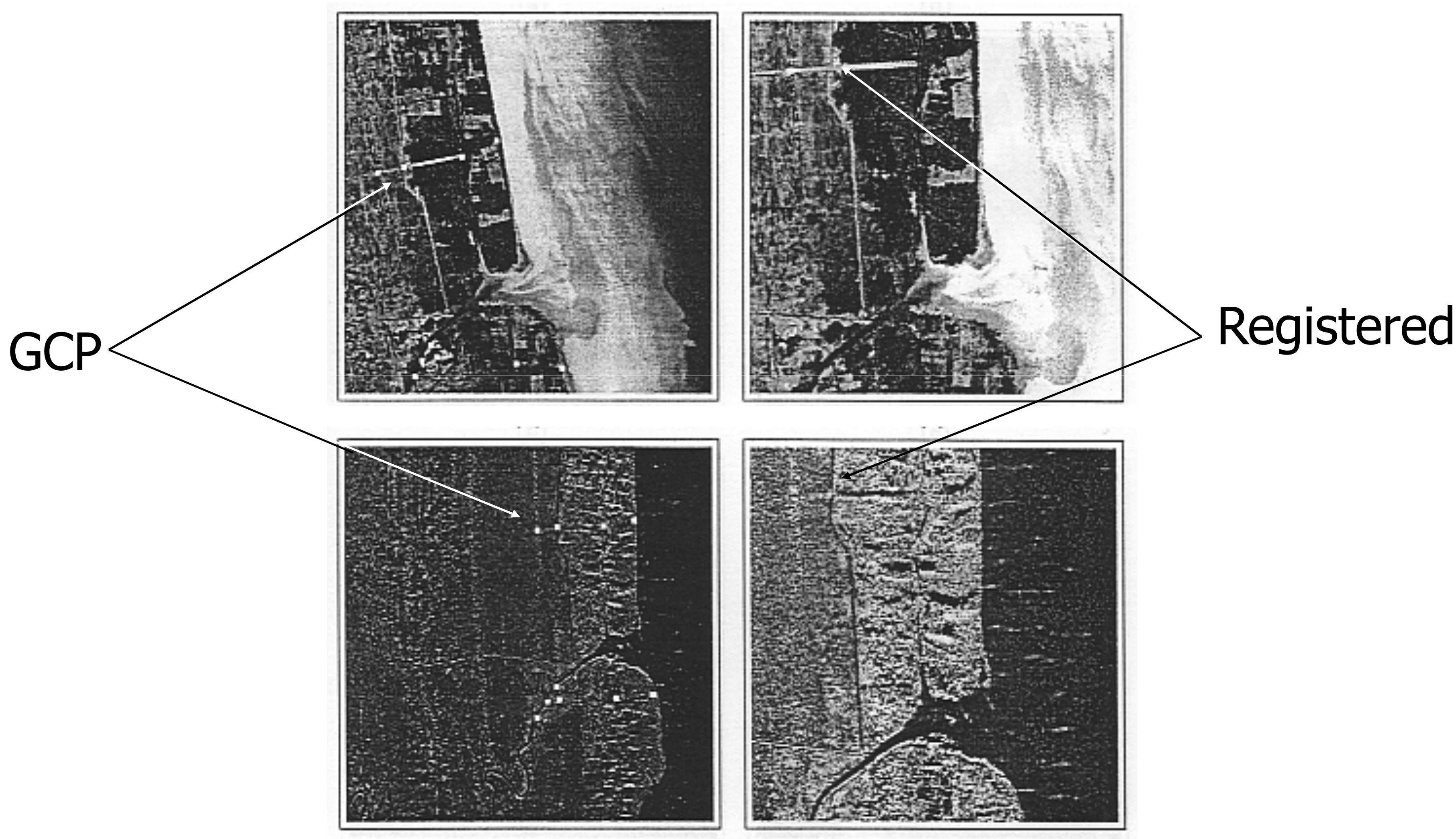


Hanya diperlukan proses translasi beberapa piksel arah horizontal

Image Registration

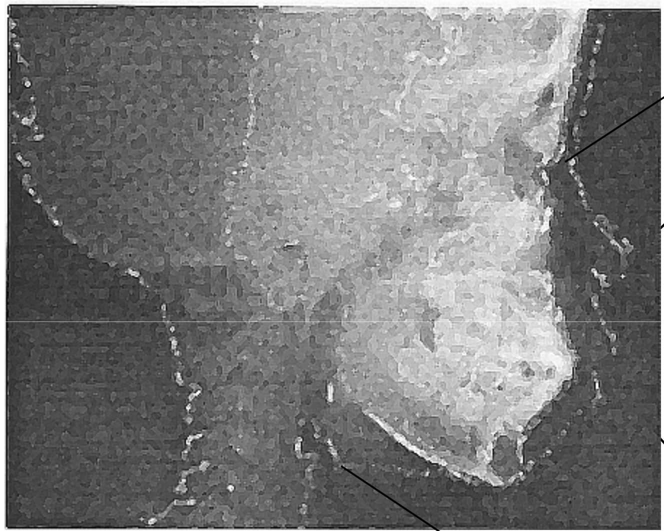
- **Image registration** termasuk geometric spatial transformation untuk distorsi geometrik yang tidak teratur (kompleks).
- **Image rectification** adalah image registration dimana citra reference yang digunakan sudah dalam proyeksi peta yang standar, misal untuk Indonesia adalah proyeksi UTM (Universal Transverse Mercator)
- Diperlukan penentuan **pasangan ground control points,** juga jenis distorsi yang terjadi (**mapping function**nya)
- Berikut beberapa contoh hasil image registration

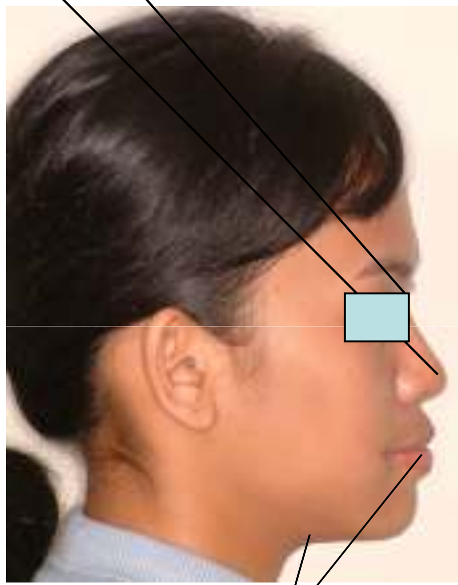
Koreksi Geometrik – Image Registration



(Sumber citra asli: Bakosurtanal RI; sumber citra registered: A. Murni, 1995)

Image Registration
(Source: J. Kusnoto and A. Murni, 2007)





Multimodal data: Cephalo (X-Ray) image and Profile Photo image (Registration is done using Dolphin software)

Corresponding Control Points

Geometric Correction: Image Morphing

(Sumber: Joko Kusnoto *et al*., AICBET-2007)

Cephalo Data/Image untuk menentukan nilai orthodontic metric

Indonesian Deuteromalay normative facial profile

Preferred facial profile

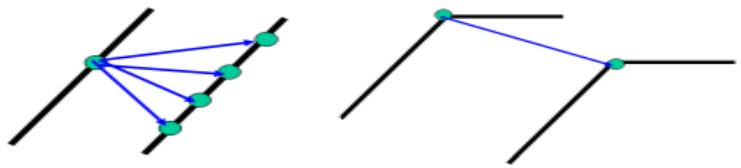
Display simulasi facial profile dengan metrik normative atau preferred, untuk menampilkan simulasi hasil treatment yang akan diperoleh

Automatic Image Registration

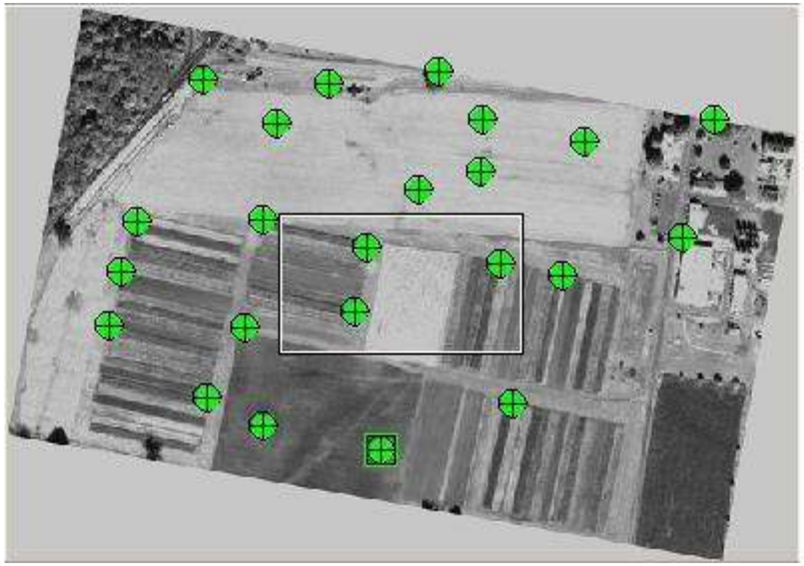
(Sumber: Skripsi Gunawan, 2006)

Deteksi GCPs dilakukan secara otomatis dengan metode **Harris Corner Detection**

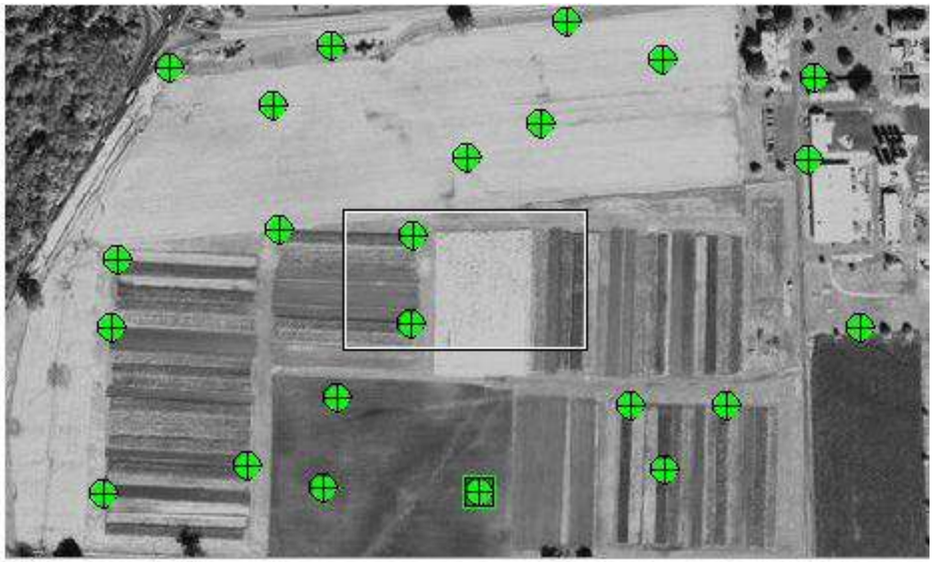
(Sumber: Gunawan, 2006; Pahala Sirait, 2014)



Sensed Image



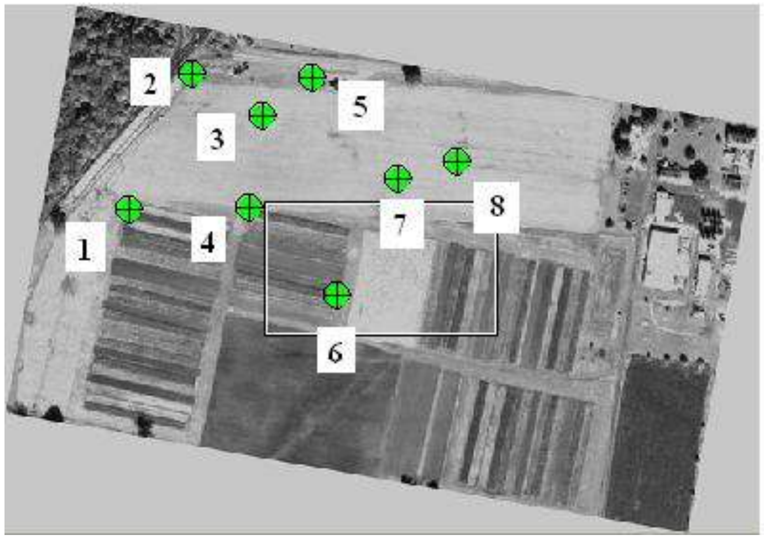
Reference Image



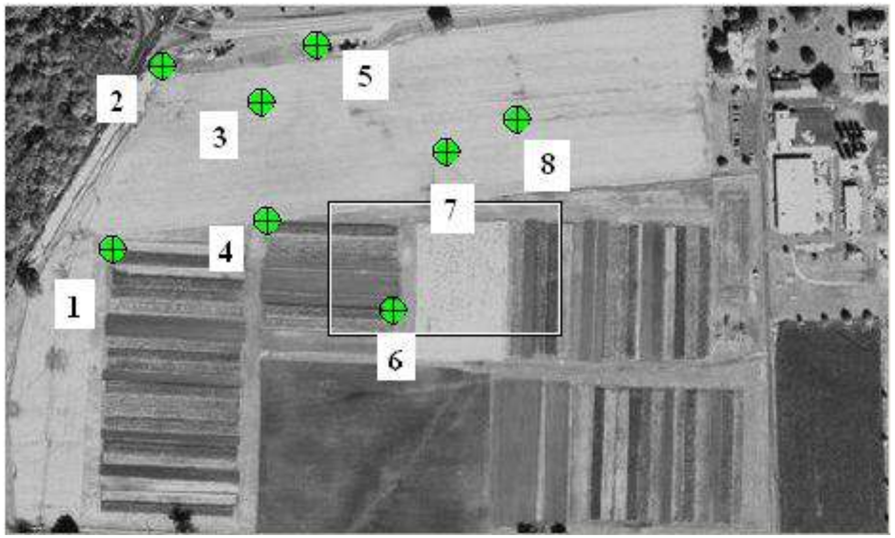
Pencarian Pasangan GCPs

- Pencarian pasangan GCPs yang dideteksi pada *sensed image* dan *reference image* dilakukan secara otomatis berdasarkan ***similarity measure*** dengan metode ***combined invariants*** atau ***correlation*.**

Sensed Image

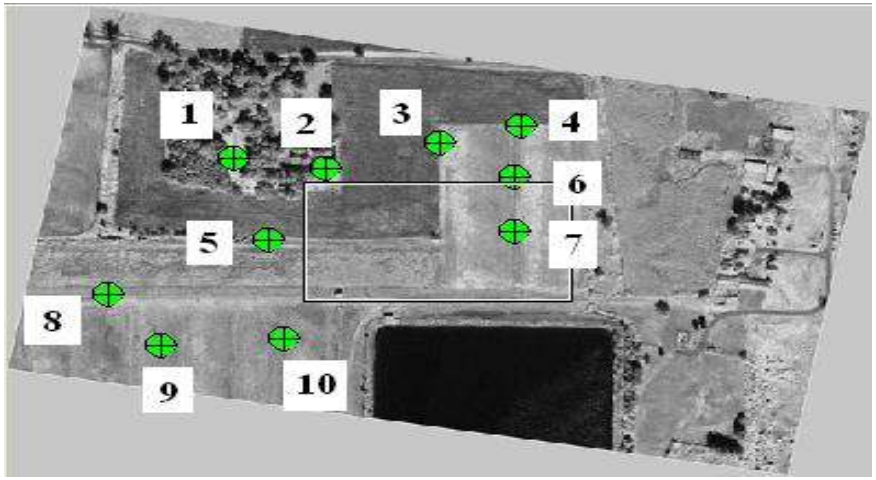


Reference Image

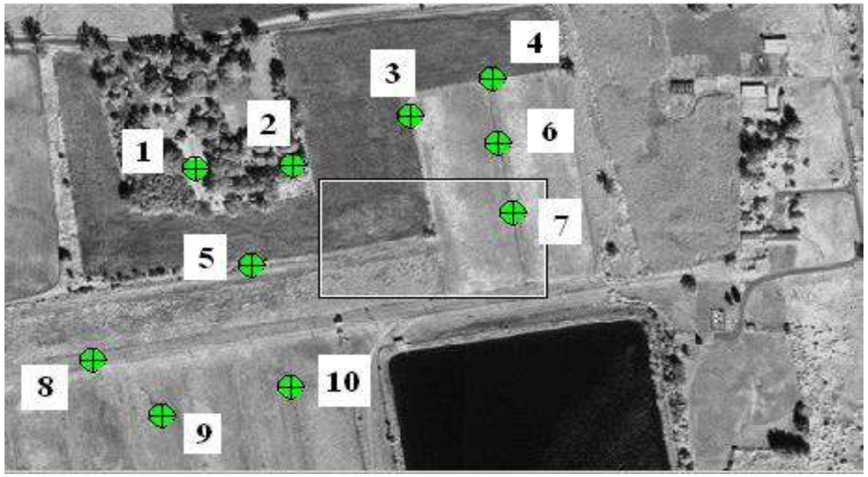


Contoh Hasil Image Registration

Sensed Image



Reference Image



Pasangan GCPs = 10
Image Registration using MATLAB
RMSE = 0.4159
(Source of image http://imagers.gsfc.nasa.gov)

Registered Image

Dua tahapan Image Registration

- ***Spatial Transformation*: merupakan pemetaan letak piksel yang dikoreksi pada bidang citra acuan menggunakan *suatu mapping function*.**
- ***Gray-level Interpolation*: merupakan pemberian nilai intensitas piksel sesuai dengan nilai intensitas piksel bersangkutan, dan *pemberian nilai intensitas piksel-piksel yang kosong* berdasarkan interpolasi intensitas piksel-piksel yang berdekatan / tetangga (nearest neighbour method).**

Spatial Transformation

- ***Misal model dari distorsi geometrik berbentuk transformasi Helmert mapping (citra(u,v) ditransformasi ke citra(x,y)) dengan:***

$$x' = au + bv + c$$

$$y' = bu + av + d$$

- ***Digunakan 10 – 20 Ground Control Points (GCPs). 4 koefisien a, b, c, d dapat diperoleh dari kedua persamaan diatas dengan 10 – 20 pasangan (u,v) dan (x,y) yang merupakan koordinat GCPs. Bila 4 koefisien a, b, c, d telah dapat dihitung, maka (x',y') untuk setiap pasangan juga dapat dihitung.***
- ***Criterion of goodness yang biasa digunakan adalah E-RMS (root-mean-square error):***

$$E\text{-}RMS = sqrt\ (sum\ ((x' - x)^2 + (y' - y)^2)$$

Beberapa Fungsi Transformasi

Nama Fungsi	Rumus Transformasi	Jumlah Parameter yg tidak diketahui
Transformasi Helmert	x = au + bv + c y = bu + av + d	4
Transformasi Affine	x = au + bv _ c y = du + ev + f	6
Pseudo Affine	x = a1uv + a2u + a3v + a4 y = a5uv + a6u + a7v + a8	8
Transformasi Proyeksi	x=(a1u+a2v+a3) / (a7u+a8+1) y=(a4u+a5v+a6) / (a7u+a8+1)	8
Konform Orde Kedua	x=a1u+a2v+a3(u2-v2)+2a4uv+a5 y=a2u+a1v+2a3uv-a4(u2-v@)+a6	6

Langkah-langkah Proses

- Pemilihan fungsi transformasi
- Pemilihan *ground control points (GCPs)*
- Penentuan parameter fungsi transformasi berdasarkan informasi GCPs
- Proses transformasi ruang menggunakan GCPs dan fungsi transformasi yang telah diketahui
- Interpolasi / resampling untuk piksel yang tidak teridentifikasi
- Evaluasi akurasi dengan *Root Mean Square Error* (RMSE)
- RMSE sebaiknya < 1 piksel. Bila masih besar dilakukan pembuangan GCPs yang besar error-nya selama jumlah GCPs masih representatif; atau dipilih penggunaan fungsi transformasi yang lain.

Contoh Komputasi (1)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

- Diambil contoh dua buah citra dengan 5 pasang titik kontrol yang berkorespondensi:

Citra (u,v)		Citra (x,y)
(10,15)	→	(3,5)
(15,18)	→	(7,10)
(5,10)	→	(0,5)
(8,5)	→	(4,1)
(10,8)	→	(2,3)

- Kita ambil persamaan Helmert sebagai fungsi pemetaan:

$$x = au + bv + c$$

$$y = bu + av + d$$

Contoh Komputasi (2)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

- Maka akan diperoleh persamaan-persamaan berikut:

3=10a+15b+c	→	10a+15b+c+0d=3
5=10b+15a+d	→	15a+10b+0c+d=5
7=15a+18b+c	→	15a+18b+c+0d=7
10=15b+18a+d	→	18a+15b+0c+d=10
0=5a+10b+c	→	5a+10b+c+0d=0
5=5b+10a+d	→	10a+ 5b+0c+d=5
4=8a+5b+c	→	8a+ 5b+c+0d=4
1=8b+5a+d	→	5a+ 8b+0c+d=1
2=10a+8b+c	→	10a+ 8b+c+0d=2
3=10b+8a+d	→	8a+10b+0c+d+3

Contoh Komputasi (3)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

- Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk:

  $$A.\overline{x} = \overline{b}$$

  dengan

  $$A = \begin{vmatrix} 10 & 15 & 1 & 0 \\ 15 & 10 & 0 & 1 \\ 15 & 18 & 1 & 0 \\ 18 & 15 & 0 & 1 \\ 5 & 10 & 1 & 0 \\ 10 & 5 & 0 & 1 \\ 8 & 5 & 1 & 0 \\ 5 & 8 & 0 & 1 \\ 10 & 8 & 1 & 0 \\ 8 & 10 & 0 & 1 \end{vmatrix} \qquad \overline{x} = \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{vmatrix} \qquad \overline{b} = \begin{vmatrix} 3 \\ 5 \\ 7 \\ 10 \\ 0 \\ 5 \\ 4 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{vmatrix}$$

Contoh Komputasi (4)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

- Persamaan $A.\bar{x} = \bar{b}$ belum tentu konsisten, oleh karena itu perlu diselesaikan dengan *least square method* menggunakan persamaan normalnya yang pasti konsisten:

  $$A^T.A\bar{x} = A^T.\bar{b}$$

- Skenario-1: jika AT.A tidak mempunyai *inverse*, maka persamaan diselesaikan dengan eliminasi *Gauss-Jordan*.
- Skenario-2: jika $A^T.A$ mempunyai *inverse*, maka $\bar{x} = (A^T.A)^{-1}.A^T.\bar{b}$

Contoh Komputasi (5)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

$$A^T = \begin{vmatrix} 10 & 15 & 15 & 18 & 5 & 10 & 8 & 5 & 10 & 8 \\ 15 & 10 & 18 & 15 & 10 & 5 & 5 & 8 & 8 & 10 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

A^T = transpose matriks A, sehingga

$$A^T.A = \begin{vmatrix} 1252 & 1180 & 56 & 48 \\ 1180 & 1252 & 66 & 38 \\ 56 & 66 & 6 & 0 \\ 48 & 38 & 0 & 4 \end{vmatrix}$$

Contoh Komputasi (6)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

Hasil perhitungan operasi dasar matriks inverse A^{-1} menghasilkan:

$$(A^T.A)^{-1} = \begin{vmatrix} 0.0121 & -0.0079 & -0.0258 & -0.0700 \\ -0.0079 & 0.0112 & -0.0498 & -0.0118 \\ -0.0258 & -0.0498 & 0.9551 & 0.7826 \\ -0.0700 & -0.0118 & 0.7826 & 1.2015 \end{vmatrix}$$

Perhitungan operasi dasar matriks dapat dilakukan dengan software tool seperti MATLAB dll.

Selanjutnya dengan memasukkan hasil perhitungan diatas ke persamaan: $\overline{x} = (A^T.A)^{-1}.A^T.\overline{b}$, maka akan didapat nilai koefisien a,b,c, dan d sebagai berikut:

$a = 0.6221$

$b = -0.0345$

$c = -2.2605$

$d = -1.8878$

Contoh Komputasi (7)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

Evaluasi akurasi hasil registrasi dilakukan dengan melihat perbedaan hasil mapping dengan koordinat titik sebenarnya - perbedaan (x',y') dengan (x,y):

X1' = 10a+15b+c = 10x0.62+15x (-0.03)+(-2.26) = 3.49

X1 nilainya 3, jadi error = 0.49 pixel

Y1' = 15a+10b+d = 15x0.62+10x(-0.03)+(-1.88) = 7.12

Y1 nilainya 5, jadi error = **2.12 pixel**

X2' = 15a+18b+c = 15x0.62+18x(-0.03)+(-2.26) = 6.5

X2 nilainya 7, jadi error = 0.5 pixel

Y2' =18a+15b+d = 18x0.62+15x(-0.03)+(-1.88) = 8.77

Y2 nilainya 10, jadi error 1.23 pixel

dst.nya

Contoh Komputasi (8)

(Sumber: Joko Kusnoto, Aniati Murni, dan Kasiyah M.J.)

- Dari hasil evaluasi diatas, titik kontrol pertama mempunyai error yang relatif besar untuk nilai Y-nya yaitu lebih dari 2 piksel, karena itu titik kontrol pertama dapat diabaikan. Pemetaan dapat diulangi dengan hanya menggunakan 4 titik kontrol.
- Bila jumlah titik kontrol yang harus diabaikan cukup besar, **mungkin perlu ditambah lagi dengan titik kontrol yang baru atau *mapping function*-nya harus diganti.**
- Selanjutnya dapat dihitung Root Mean Square:

$$\text{RMS Error} = \text{square-root } [1/4\{(0.5)^2+(1.23)^2+ \ldots.\}]$$

Grey-level Interpolation

- ***Proses pemetaan dengan transformasi spatial terkadang menghasilkan piksel-piksel yang kosong, yaitu posisi piksel pada bidang citra acuan yang tidak pernah ditempati oleh piksel yang dipetakan ke bidang citra tersebut. Akibatnya perlu ditentukan suatu intensitas yang harus diisikan pada piksel-piksel kosong tersebut.***
- ***Nearest-neighbour method: piksel yang kosong dapat diisi dengan salah satu nilai dari 4- atau 8-piksel-tetangga-nya atau nilai rata-rata dari 4- atau 8-piksel tetangga-nya.***

Topic 2:
Convolution dan Correlation

Proses Konvolusi

- ***Formula Konvolusi:***

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)\, g(x-\alpha)\, d\alpha$$

α = ***dummy variable of integration***

- ***Mekanisme konvolusi dalam bentuk integral ini tidak mudah untuk digambarkan (Gonzalez & Woods, 1992, Bab 4)***

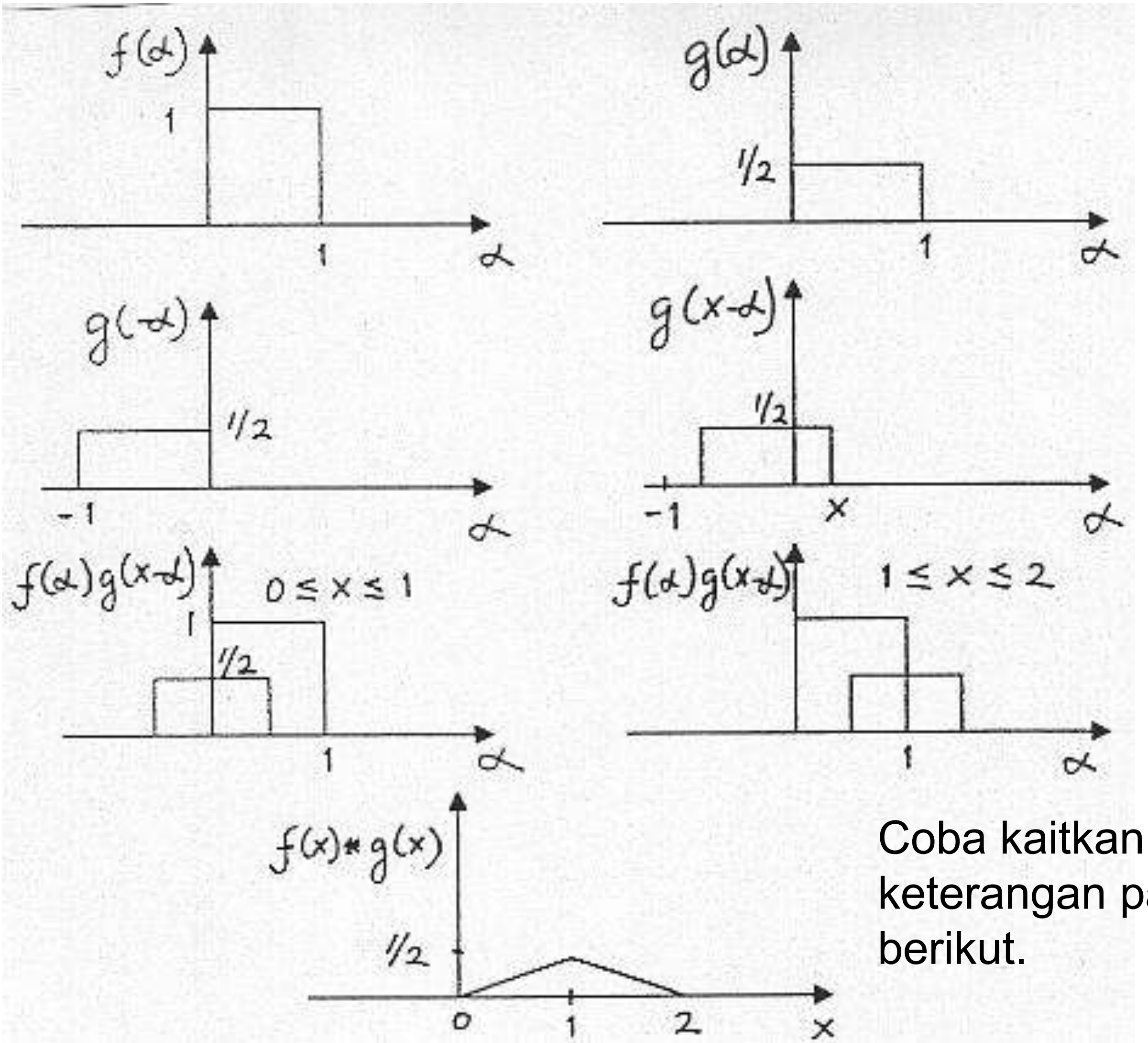
Proses Konvolusi pada Citra 2-Dimensi

- ***Bentuk Kontinue dan Diskrit:***

$$f(x,y) * g(x,y) = \iint f(\alpha,\beta)\, g(x-\alpha)(y-\beta)\, d\alpha\, d\beta$$

$$f(x,y) * g(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)\, g(x-m, y-n)$$

Konvolusi pada Domain Kontinue



Coba kaitkan dengan keterangan pada slide berikut.

Konvolusi pada Domain Diskrit

- ***Bila A adalah periode dalam diskritisasi f(x) dan B adalah periode dalam diskritisasi g(x), maka hasil konvolusi akan mempunyai periode M dimana M=A+B***
  - ***Periode f(x) dan g(x) masing-masing dibesarkan menjadi M dengan menyisipkan 0***

    f(x) = f(x) bila $0 \le x \le A-1$ ***dan f(x) = 0 bila*** $A \le x \le M-1$

    g(x) = g(x) bila $0 \le x \le B-1$ ***dan g(x) = 0 bila*** $B \le x \le M-1$
- ***Konvolusi diskrit:***
  - ***dilakukan melalui proses flip and shift terhadap fungsi g(x)***
  - $$f(x) * g(x) = \sum_{m=0}^{M-1} f(m)\, g(x-m)$$

Konvolusi pada Domain Diskrit: dengan pendekatan flip and shift kernel

f(x) = [0 0 1 2 3 4 0] → ***[0 0 1 2*** $\boxed{3\ \ 4}$ ***0 0 0]***

g(x) = [-1 4 -1] karena simetri di-flip tetap [-1 4 -1]

→ ***[-1 4 –1 0 0 0 0 0 0]***

maka f(x)*g(x) =

0x-1 + 0x4 + 1x-1 + 2x0 + 3x0 + 4x0 + 0x0 + 0x0 + 0x0 = -1
0x0 + 0x-1 + 1x4 + 2X-1 + 3x0 + 4x0 + 0x0 + 0x0 +0x0 = 2
0x0 + 0x0 + 1x-1 + 2x4 + 3x-1 + 4x0 + 0x0 + 0x0 + 0x0 = 4
0x0 + 0x0 + 1x0 + 2x-1 + 3x4 + 4x-1 + 0x0 + 0x0 + 0x0 = 6
0x0 +0x0 + 1x0 + 2x0 + 3x-1 + 4x4 + 0x-1 + 0x0 + 0x0 = 13
0x0 + 0x0 + 1x0 + 2x0 + 3x0 + 4x-1 + 0x0 + 0x0 + 0x0 = -4
0x0 + 0x0 + 1x0 + 2x0 + 3x0 + 4x0 + 0x-1 + 0x4 + 0x-1 = 0
0x0 + 0x0 + 1x0 + 2x0 + 3x0 + 4x0 + 0x0 + 0x-1 + 0x4 = 0
0x0 + 0x0 + 1x0 + 2x0 + 3x0 + 4x0 + 0x0 + 0x0 + 0x-1 = 0

f(x)*g(x) = [$\boxed{-1\ \ 2}$ ***4 6*** $\boxed{13\ –4}$ ***0 0 0]***

Konvolusi pada Domain Diskrit: dengan Pendekatan Rumus Konvolusi

- ***Kita lihat kembali rumusan konvolusi:***

$$f(x) * g(x) = \sum_{m=0}^{M-1} f(m)\, g(x-m)$$

- ***f(0) =0; f(1)=0; f(2)=1; f(3)=2; f(4)=3; f(5)=4; f(6)=0; … f(8)=0***
  g(6)=0; … g(1)= 0; g(0)= -1; g(-1)= 4; g(-2)= -1;
  f(0)*g(0) = f(0)g(0) + f(1)g(-1) + f(2)g(-2) + dst = -1
  f(1)*g(1) = f(0)g(1) + f(1)g(0) + f(2)g(-1) + f(3)g(-2) + dst = 2
  f(2)*g(2) = f(0)g(2) + f(1)g(1) + f(2)g(0) + f(3)g(-1) + f(4)g(-2) + dst = 4

  dst.nya hasil yang diperoleh sama dengan cara sebelumnya !

Proses Korelasi

- ***Korelasi pada domain kontinue:***

$$f(x) \circ g(x) = \int f(\alpha)\, g(x+\alpha)\, d\alpha$$

$$f(x,y) \circ g(x,y) = \iint f(\alpha,\beta)\, g(x+\alpha, y+\beta)\, d\alpha\, d\beta$$

- ***Korelasi pada domain diskrit:***

$$f(x) \circ g(x) = \sum_{m=0}^{M-1} f(m)\, g(x+m)$$

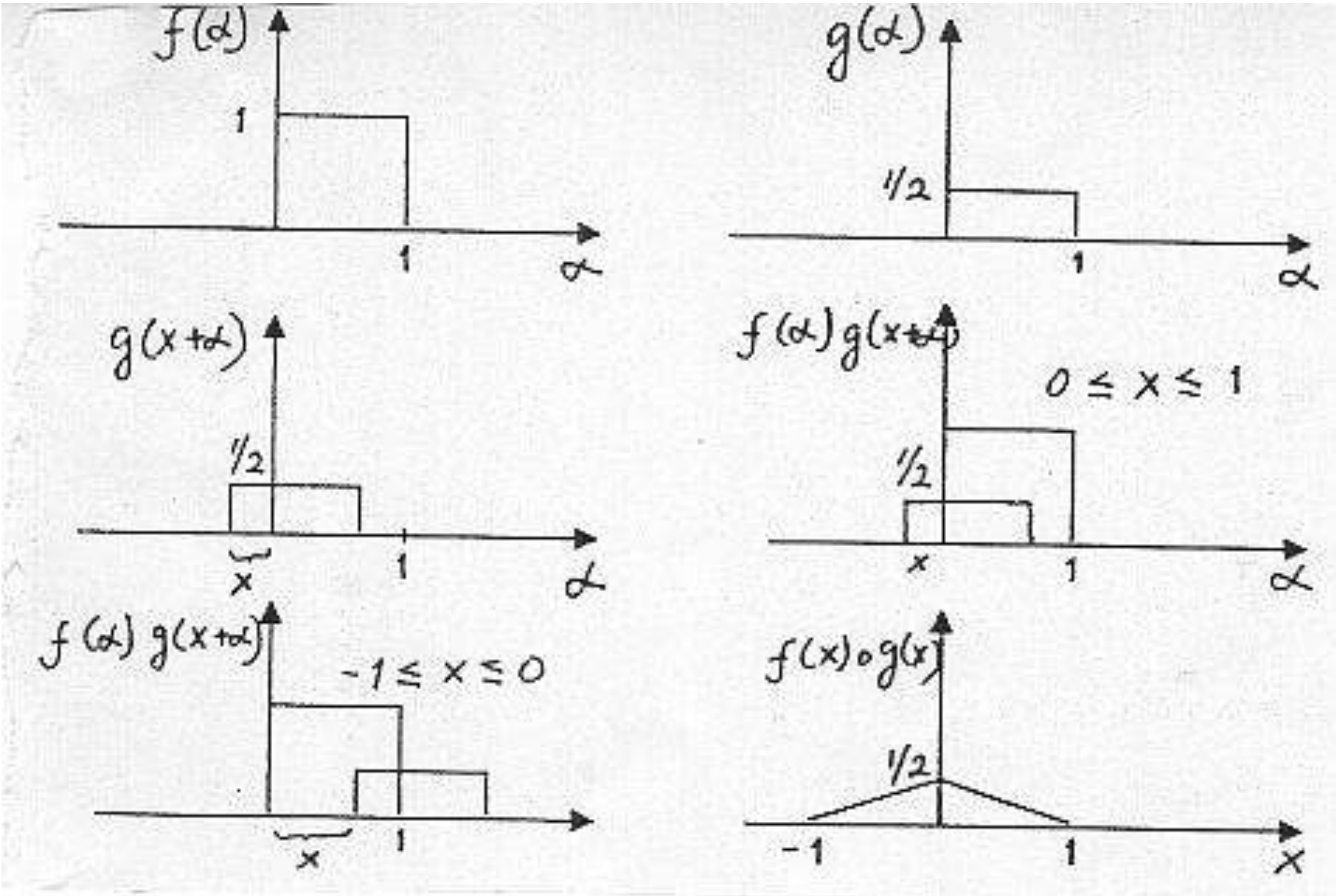
$$f(x,y) \circ g(x,y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)\, g(x+m, y+n)$$

Perbedaan antara Konvolusi dan Korelasi

- ***Konvolusi (operator *):***
  - *Flip g(x) and shift by f(x)*
  - *Aplikasi filtering system*
- ***Korelasi (operator ○):***
  - *Slide g(x) by f(x)*
  - *Aplikasi template matching*

Proses Korelasi pada Domain Kontinue

- ***Kalau pada konvolusi didahului dengan proses flip fungsi operatornya, pada korelasi proses flip tersebut tidak dilakukan***



Proses Korelasi pada Domain Diskrit: Untuk Citra Biner

Template	*Image*	*Hasil Korelasi*
1 1 1	*1 1 0 0 0*	*7 4 2 x x*
1 1 1	*1 1 1 0 0*	*5 3 2 x x*
1 1 1	*1 0 1 0 0*	*2 1 1 x x*
	0 0 0 0 0	*x x x x x*
	0 0 0 0 0	*x x x x x*
		x = undefined

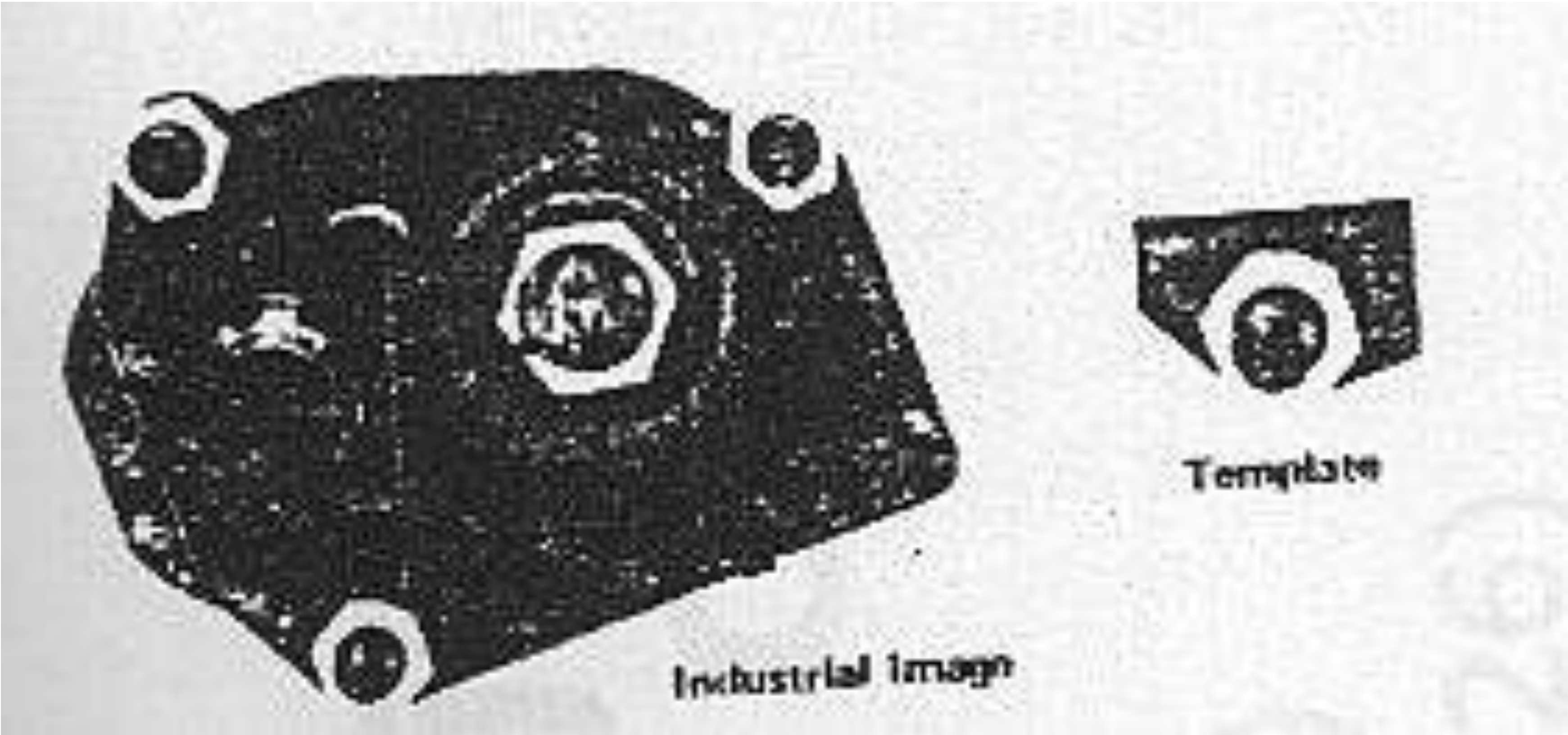
match terjadi
pada nilai terbesar
(posisi/lokasi match)

Proses Template Matching: Untuk Citra Multiple Gray Level

Template	*Image*	*Hasil Korelasi*
2 3 1	*2 3 2 1 3*	*6 4 3 x x*
1 2 3	*1 2 3 3 3*	*1 2 3 x x*
3 1 2	*3 3 3 2 3*	*1 1 0 x x*
	0 0 0 0 0	*x x x x x*
	0 0 0 0 0	*x x x x x*
		x = undefined

match terjadi
pada nilai terbesar
(posisi/lokasi match)

Template Matching pada Industrial Image



Operasi Korelasi: Pendekatan Rumus Korelasi

- *Rumus Korelasi:*

$$f(x) \circ g(x) = \sum_{m=0}^{M-1} f(m)\, g(x+m)$$

- *Citra : 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0* *Tempalate: 1 1 1*

  f(0)=0 f(1)=0 f(2)=1 f(3)=1 f(4)=1 dst.

  g(0)=1 g(1)=1 g(2)=1 g(3)=0 g(4)=0 dst.

  f(0)g(0) = f(0)g(0)+f(1)g(1)+f(2)g(2) … = 1

  f(1)g(1) = f(0)g(1)+f(1)g(2)+f(2)g(3) … = 2

  f(2)g(2) = f(0)g(2)+f(1)g(3)+f(3)g(4) … = 3 dst.

- *Hasil Korelasi*

  1 2 3 2 1 1 2 2 1 *posisi matching*

Rumus Korelasi

- *Formula korelasi diatas mempunyai kelemahan:*
  - *Rentan terhadap ukuran yang tidak sama antara template dan obyek yang ada pada citra*
  - *Rentan terhadap orientasi yang berbeda antara template dan obyek yang ada pada citra*
- *Banyak penelitian dan usulan rumus korelasi yang telah dikembangkan*

The End of Presentation