

Intensity Transformation & Spatial Filtering

KELOMPOK 8

MUHAMMAD DAFFA RIZKYANDRI (2206829194)
SURYA DHARMASAPUTRA SOEROSO (2206827825)
VALENTINO FARISH ADRIAN (2206825896)

Definition

SPATIAL DOMAIN

- Spatial Domain merujuk pada bidang gambar itu sendiri, yaitu representasi gambar dalam bentuk matriks piksel. Dalam konteks pemrosesan gambar, spatial domain adalah area di mana operasi dilakukan secara langsung pada nilai-nilai piksel gambar.
- Pemrosesan dalam spatial domain umumnya lebih efisien secara komputasi karena bekerja langsung pada piksel tanpa memerlukan transformasi tambahan.
- Intensity Transformation dan Spatial Filtering adalah dua kategori utama pemrosesan spasial.

Intensity Transformation

- Intensity Transformation adalah teknik pemrosesan gambar yang beroperasi pada tingkat piksel tunggal.
- Teknik ini memodifikasi nilai intensitas (atau tingkat keabuan) setiap piksel berdasarkan fungsi transformasi tertentu. Tujuannya adalah untuk memanipulasi properti gambar seperti **kontras**, **kecerahan**, atau **thresholding**.

Spatial Filtering

- Spatial Filtering adalah teknik pemrosesan gambar yang melibatkan operasi pada sekelompok piksel (neighborhood) di sekitar setiap piksel dalam gambar.
- Proses ini dilakukan dengan menggeser jendela (kernel atau mask) yang berukuran kecil (misalnya, 3x3 atau 5x5) di seluruh gambar dan menerapkan operasi tertentu pada piksel-piksel dalam jendela tersebut. Tujuan: **Smoothing**, dan **Sharpening**.

Intensity Transformation

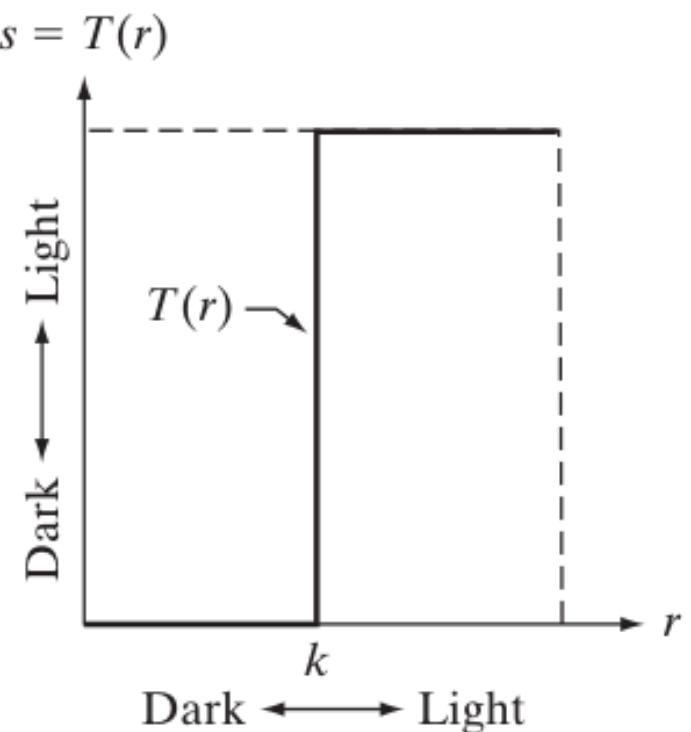
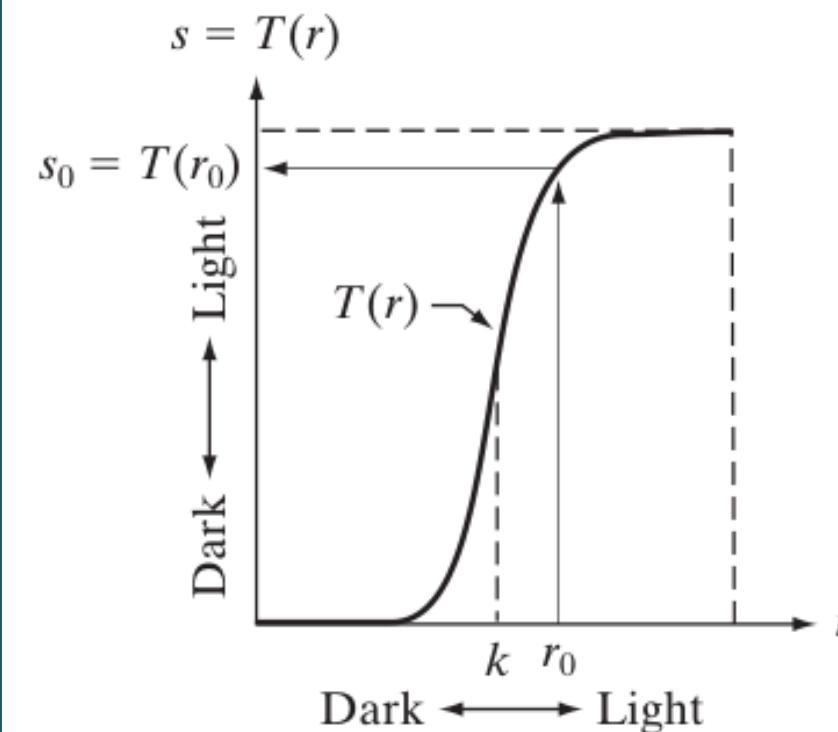
Contrast Stretching

- Fungsi ini meningkatkan kontras gambar dengan menggelapkan intensitas di bawah nilai tertentu (k) dan mencerahkan intensitas di atas k .
- Nilai intensitas r yang lebih rendah dari k dipetakan ke rentang yang lebih sempit (mendekati hitam), sedangkan nilai di atas k dipetakan ke rentang yang lebih terang.
- Tujuannya adalah untuk meningkatkan perbedaan antara area gelap dan terang dalam gambar.

Thresholding

- Fungsi ini mengubah gambar menjadi gambar biner (hitam dan putih) dengan memetakan semua intensitas di bawah ambang batas k ke hitam dan di atas k ke putih.
- Thresholding sering digunakan untuk segmentasi gambar, di mana objek dipisahkan dari latar belakang berdasarkan intensitas.

Intensity Transformation



$$s = T(r)$$

Intensity Transform : Image Negative

DEFINISI

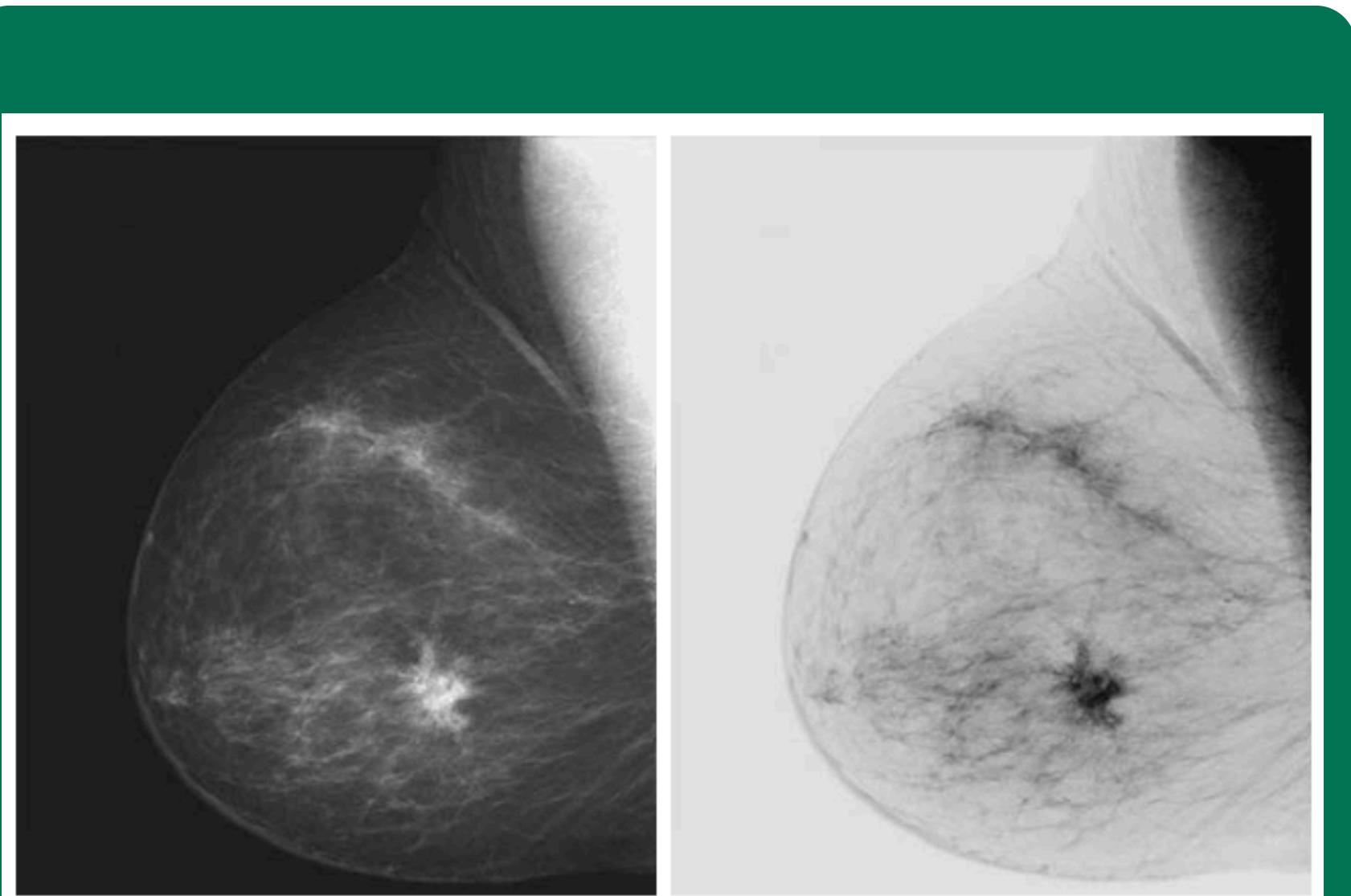
- Merupakan teknik intensity transformation yang membalikkan nilai intensitas piksel dalam gambar.
- Bila gambar asli memiliki intensitas dalam rentang $[0, L, -1]$, maka image negative akan mengubah intensitas (r) menjadi $s = L - 1 - r$.

TUJUAN

- Membalikkan intensitas gambar sehingga area gelap menjadi terang dan sebaliknya.
- Berguna untuk meningkatkan detail yang tersembunyi di area gelap, terutama ketika area gelap dominan dalam gambar.

$$s = L - 1 - r$$

- r : Nilai intensitas piksel input (gambar asli), dalam rentang $[0, L-1]$.
- s : Nilai intensitas piksel output (gambar hasil transformasi).
- L : Jumlah total level intensitas. Untuk gambar 8-bit, $L=256$, sehingga rentang intensitas adalah $[0, 255]$.



- Gambar 3.4(a): Gambar asli (original digital mammogram) yang menunjukkan lesi/benjolan kecil.
- Gambar 3.4(b): Gambar hasil transformasi negatif menggunakan rumus $s=L-1-r$.

Intensity Transform : Log Transform

DEFINISI

- Merupakan teknik intensity transformation yang menggunakan fungsi logaritma untuk memetakan nilai intensitas piksel dalam gambar.

TUJUAN

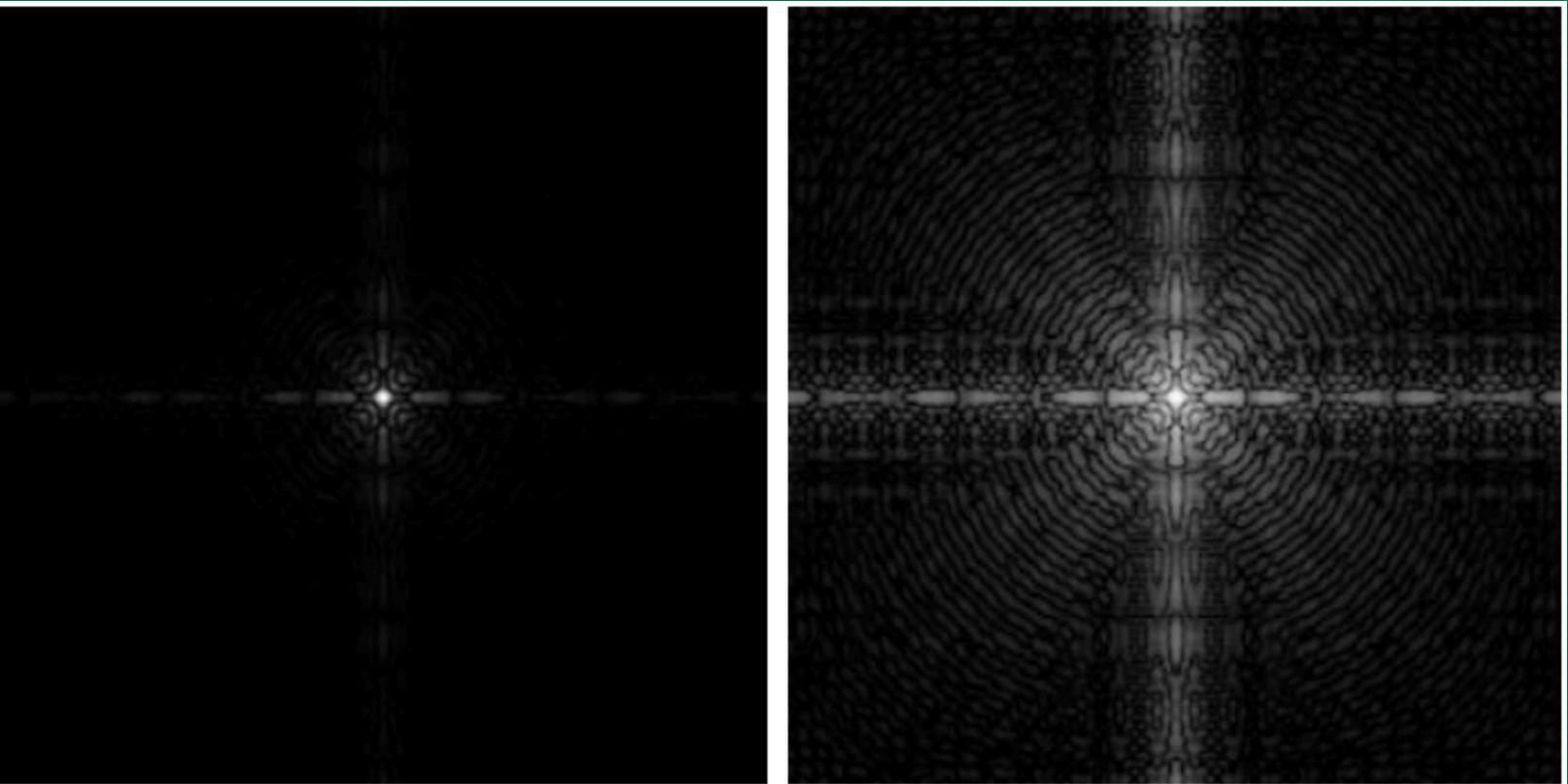
- **Mengkompresi rentang dinamis** (dynamic range) gambar yang memiliki variasi intensitas sangat besar.
- **Memperluas nilai intensitas rendah** (area gelap) sambil mengkompresi nilai intensitas tinggi (area terang).

$$s = c \cdot \log(1 + r)$$

- **r**: Nilai intensitas piksel input, dengan $r \geq 0$.
- **s**: Nilai intensitas piksel output (gambar hasil transformasi).
- **c**: Konstanta yang digunakan untuk menyesuaikan skala output.
- **$\log(1+r)$** : Fungsi logaritma yang diterapkan pada $r+1$. Penambahan 1 memastikan bahwa nilai $r=0$ tidak menghasilkan nilai negatif.

Contoh:

- Jika $r=0$, maka $s=0$.
- Jika $r=255$ (untuk gambar 8-bit), maka $s=c \cdot \log(1+255)$.



- Gambar 3.5(a): Fourier spectrum asli dengan nilai intensitas dalam rentang yang sangat besar (0 hingga 10^6).
 - Jika ditampilkan secara linear, nilai intensitas tinggi akan mendominasi, sehingga detail di area intensitas rendah (nilai kecil) tidak terlihat.
- Gambar 3.5(b): Hasil penerapan log transformations dengan $c=1$.
 - Rentang nilai intensitas dikompresi menjadi 0 hingga 6.2, sehingga detail di area intensitas rendah menjadi lebih terlihat.

Intensity Transform : Gamma Transform

DEFINISI

- Merupakan teknik intensity transformation yang menggunakan **fungsi pangkat** (exponential) untuk memetakan nilai intensitas piksel dalam gambar.
- Walaupun konsepnya sama dengan Log function yang mengompresi *dynamic range*, Gamma Transform lebih fleksibel dikarenakan kurva transformasinya dapat disesuaikan dengan pemilihan γ yang berbeda.

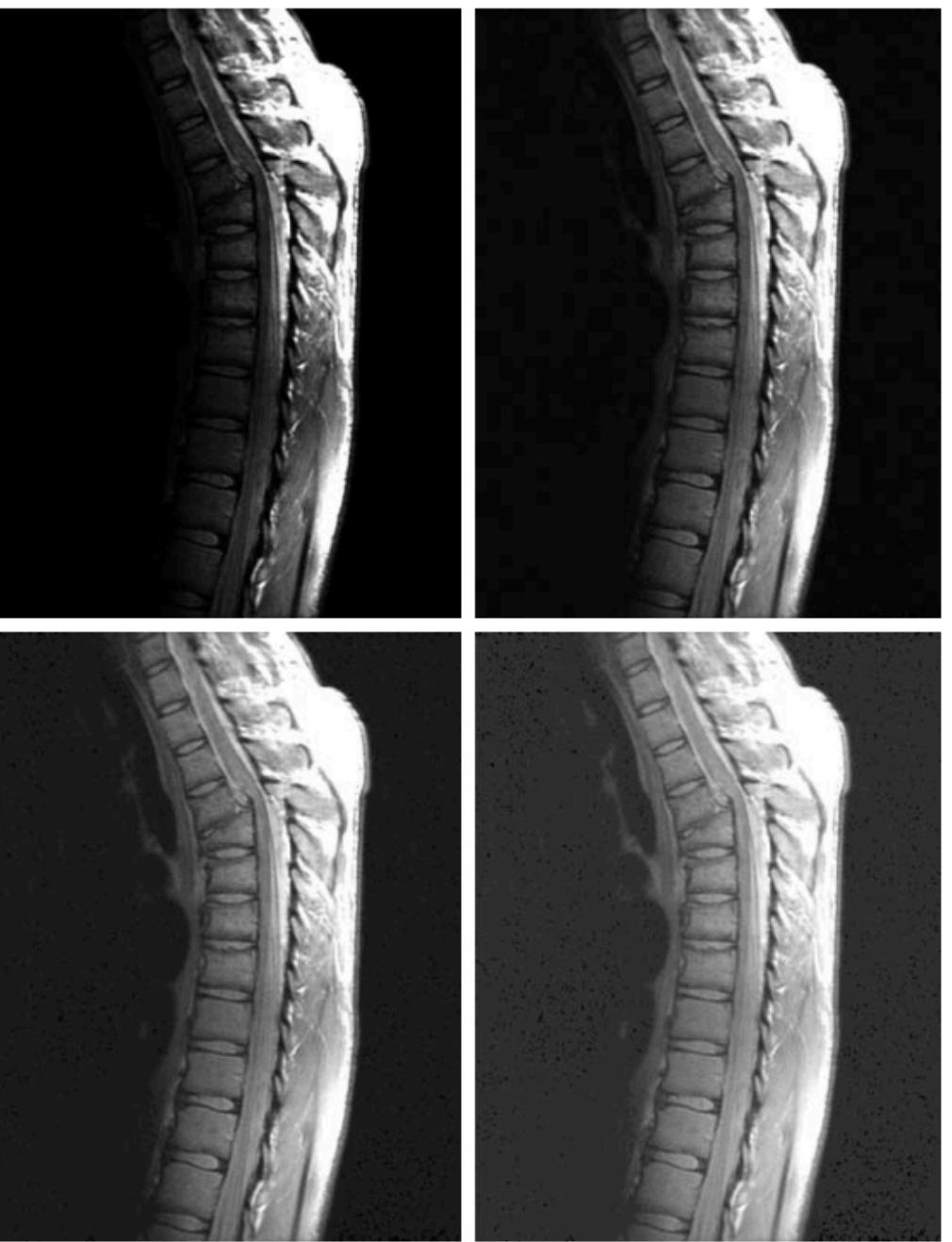
$$s = c \cdot r^\gamma$$

- r : Nilai intensitas piksel input, dengan $r \geq 0$.
- s : Nilai intensitas piksel output (gambar hasil transformasi).
- c : Biasanya diatur ke 1 untuk normalisasi.
- γ : Nilai eksponen (gamma) yang menentukan bentuk kurva transformasi.

Contoh

- Jika $\gamma < 1$: Transformasi memperluas nilai intensitas rendah (area gelap) dan mengompresi nilai intensitas tinggi (area terang).
- Jika $\gamma > 1$: Transformasi memperluas nilai intensitas tinggi (area terang) dan mengompresi nilai intensitas rendah (area gelap).
- Jika $\gamma = 1$: Transformasi menjadi identitas (tidak ada perubahan).

Gamma transformation pada gambar MRI tulang belakang yang patah

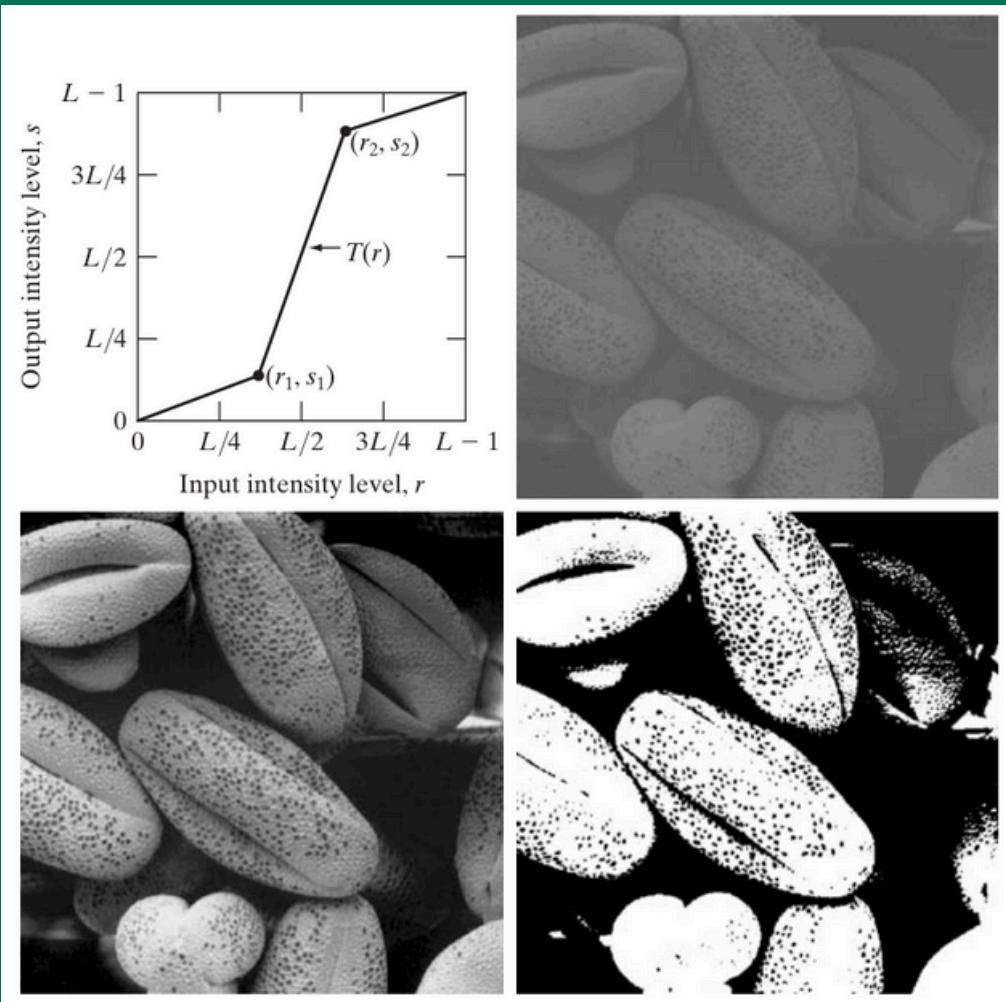


- Gambar 3.8(a): Gambar asli (MRI) dengan area gelap dominan.
- Gambar 3.8(b)-(d): Hasil transformasi dengan $\gamma=0.6, 0.4$, dan 0.3 .
 - Semakin kecil nilai γ , semakin terang area gelap dan semakin banyak detail yang terlihat.
 - Namun, jika γ terlalu kecil (misalnya, $\gamma=0.3$), gambar mulai terlihat "washed-out" karena kontras yang berkurang.

Intensity Transform : Piecewise-Linear

DEFINISI

- Merupakan teknik intensity transformation yang menggunakan fungsi linear piecewise untuk memetakan nilai intensitas piksel dalam gambar.
- Fungsi ini terdiri dari beberapa segmen linear yang disesuaikan untuk mencapai efek tertentu, seperti meningkatkan kontras atau menyoroti rentang intensitas tertentu.



- 3.10(a): Menunjukkan fungsi transformasi untuk contrast stretching.
- 3.10(b): Gambar asli dengan kontras rendah.
- 3.10(c): Hasil contrast stretching, di mana rentang intensitas diperluas untuk meningkatkan kontras.
- 3.10(d): Hasil thresholding, di mana gambar diubah menjadi biner dengan ambang batas tertentu.

JENIS

1. **Contrast Stretching:** Memperluas rentang intensitas gambar untuk meningkatkan kontras.
 - a. Fungsi transformasi terdiri dari dua titik kontrol (r_1, s_1) dan (r_2, s_2) yang menentukan bentuk kurva.
 - b. Jika $r_1=s_1$ dan $r_2=s_2$, transformasi menjadi linear (tidak ada perubahan).
 - c. Jika $r_1=r_2$ dan $s_1=0, s_2=L-1$, transformasi menjadi thresholding (membuat gambar biner).
2. **Intensity-Level Slicing:** Menyoroti rentang intensitas tertentu dalam gambar.
 - a. **Pendekatan Biner:** Menampilkan rentang intensitas yang dipilih dalam satu nilai (misalnya, putih) dan semua intensitas lainnya dalam nilai lain (misalnya, hitam).
 - b. **Pendekatan Non-Biner:** Meningkatkan atau mengurangi kecerahan rentang intensitas yang dipilih sambil mempertahankan intensitas lainnya.

02 Histogram Processing

- Histogram gambar adalah representasi grafis dari distribusi intensitas piksel dalam sebuah gambar. Untuk gambar dengan tingkat intensitas dalam rentang **[0,L-1]**.
- Histogram didefinisikan sebagai fungsi diskrit:

$$h(r_k) = nk$$

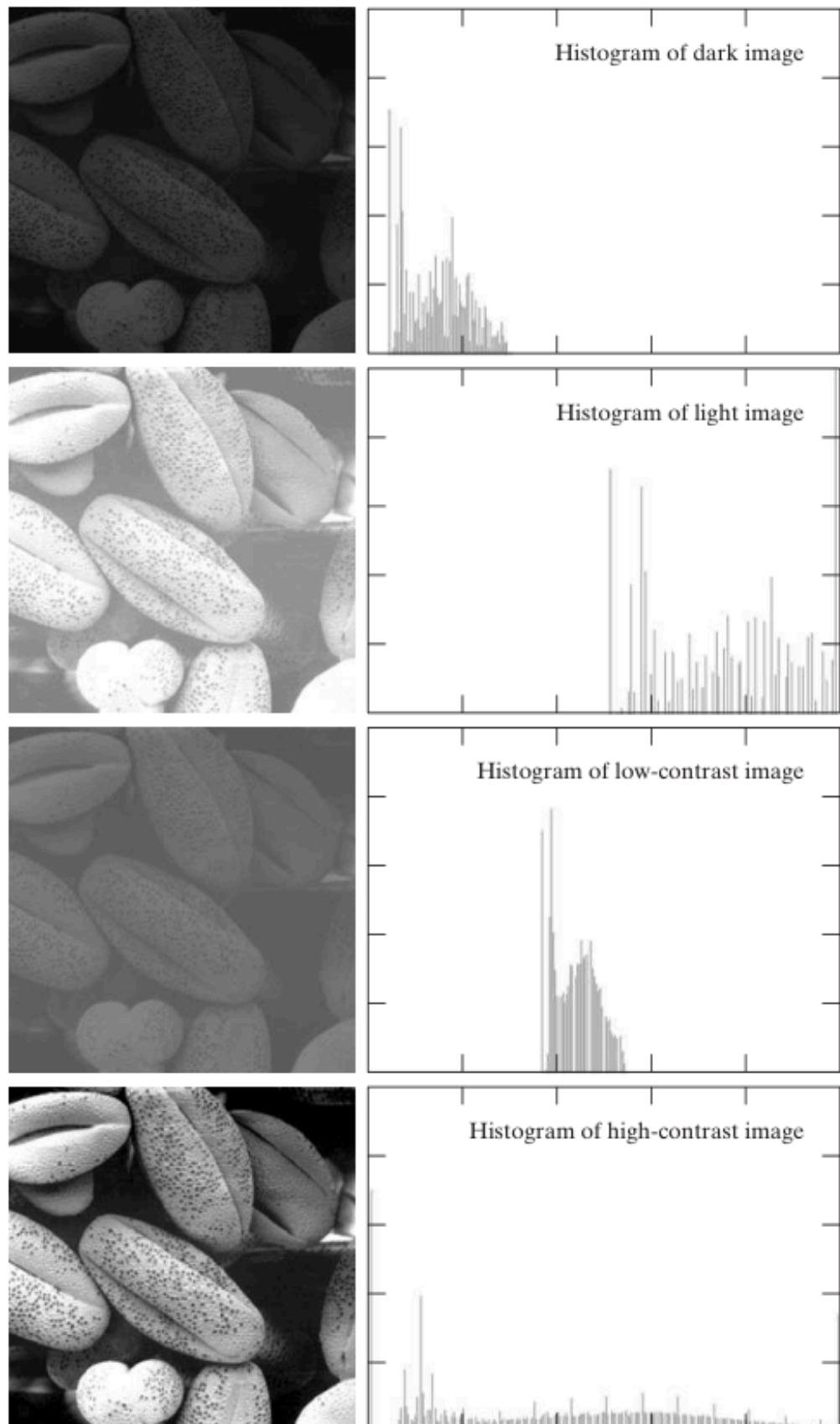
- ***rk***: Nilai intensitas ke-k (misalnya, ***rk=0,1,2,...,L-1***).
- ***nk***: Jumlah piksel dalam gambar dengan intensitas ***rk***.

- Histogram yang dinormalisasi diperoleh dengan membagi setiap komponen histogram dengan total jumlah piksel dalam gambar (***MN***, di mana ***M*** dan ***N*** adalah dimensi baris dan kolom gambar):

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{MN}$$

- ***p(rk)***: Estimasi probabilitas kemunculan intensitas ***rk*** dalam gambar.
- Sifat: Jumlah semua komponen histogram yang dinormalisasi adalah 1.

Image Histograms



02 Histogram Processing

Histogram Equalization

- Bertujuan untuk meningkatkan kontras gambar dengan menyebarkan intensitas piksel secara merata di seluruh rentangnya.
- Teknik ini sangat mengandalkan **konsep probabilitas**.

PMF

$$p_r(r_k) = \frac{n_k}{MN}$$

- **PMF** adalah probabilitas kemunculan intensitas **rk**
- **nk**: Jumlah piksel dengan intensitas rk.
- **MN**: Total jumlah piksel dalam gambar.
-

CDF

$$T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j)$$

- **CDF** menggambarkan probabilitas kumulatif dari intensitas rk

Rumus (Diskrit)

$$s_k = T(r_k) = (L - 1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j)$$

- **sk**: Nilai intensitas output setelah transformasi.
- **T(rk)**: Fungsi transformasi yang memetakan intensitas input rkrk ke output sksk.
- **pr(rj)**: Probabilitas kemunculan intensitas rj.

Contoh Aplikasi

Histogram Equalization

Misalkan kita memiliki gambar 3-bit (8 tingkat intensitas) dengan distribusi intensitas sebagai berikut:

r_k	n_k	$p_r(r_k) = n_k/MN$
$r_0 = 0$	790	0.19
$r_1 = 1$	1023	0.25
$r_2 = 2$	850	0.21
$r_3 = 3$	656	0.16
$r_4 = 4$	329	0.08
$r_5 = 5$	245	0.06
$r_6 = 6$	122	0.03
$r_7 = 7$	81	0.02



Hitung CDF

$$T(r_0) = 0.19$$

$$T(r_1) = 0.19 + 0.25 = 0.44$$

$$T(r_2) = 0.44 + 0.21 = 0.65$$

$$T(r_3) = 0.65 + 0.16 = 0.81$$

$$T(r_4) = 0.81 + 0.08 = 0.89$$

$$T(r_5) = 0.89 + 0.06 = 0.95$$

$$T(r_6) = 0.95 + 0.03 = 0.98$$

$$T(r_7) = 0.98 + 0.02 = 1.00$$



Hitung sk

$$s_k = 7 \cdot T(r_k)$$

$$s_0 = 7 \cdot 0.19 = 1.33 \approx 1$$

$$s_1 = 7 \cdot 0.44 = 3.08 \approx 3$$

$$s_2 = 7 \cdot 0.65 = 4.55 \approx 5$$

$$s_3 = 7 \cdot 0.81 = 5.67 \approx 6$$

$$s_4 = 7 \cdot 0.89 = 6.23 \approx 6$$

$$s_5 = 7 \cdot 0.95 = 6.65 \approx 7$$

$$s_6 = 7 \cdot 0.98 = 6.86 \approx 7$$

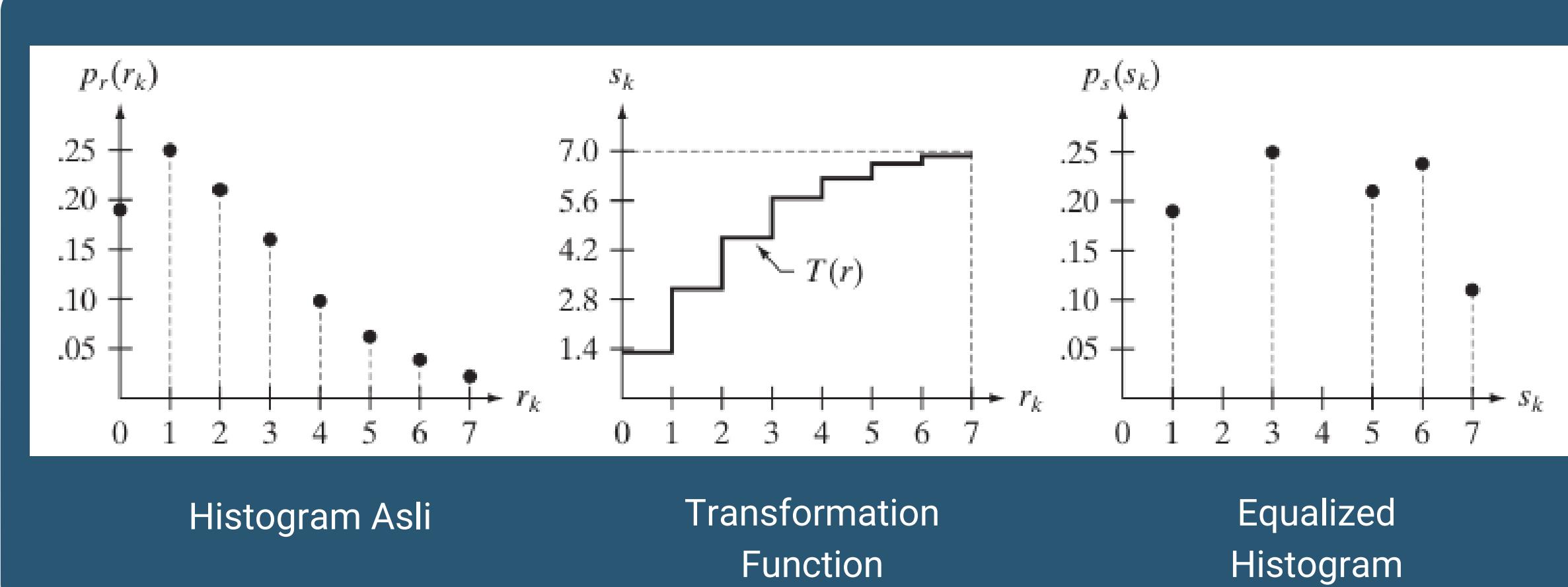
$$s_7 = 7 \cdot 1.00 = 7.00 \approx 7$$

Contoh Aplikasi

Histogram Equalization

Hasil Equalization:

- Intensitas 0 dipetakan ke 1.
- Intensitas 1 dipetakan ke 3.
- Intensitas 2 dipetakan ke 5.
- Intensitas 3 dan 4 dipetakan ke 6.
- Intensitas 5, 6, dan 7 dipetakan ke 7.



Spatial Domain & Spatial Filtering

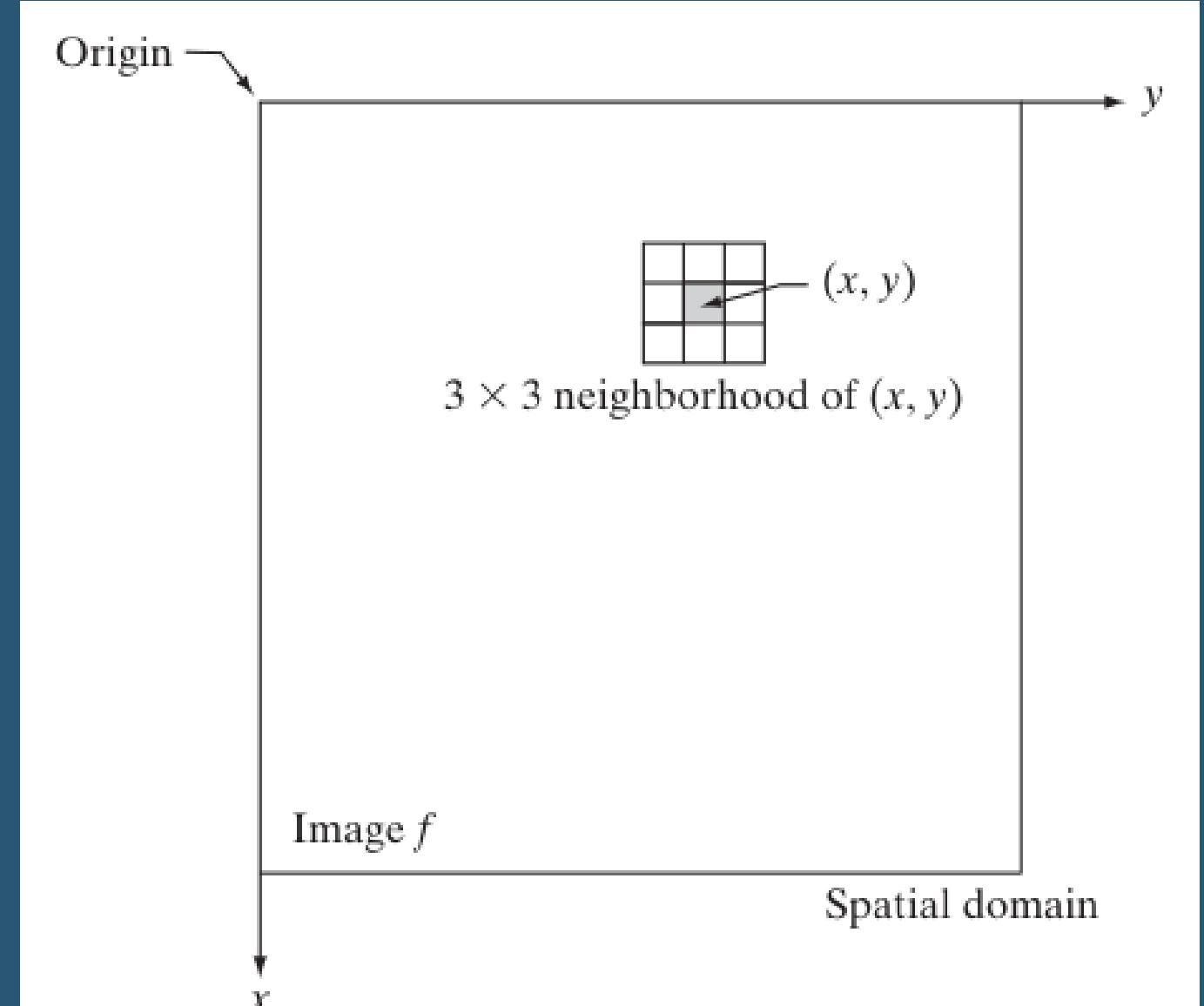
Spatial Domain

- Spatial domain adalah representasi gambar dalam bentuk matriks piksel, di mana setiap piksel memiliki koordinat (x,y) dan nilai intensitas tertentu.
- Terlihat sebuah **Neighborhood** berukuran 3×3 yang berpusat pada titik (x,y) . Neighborhood adalah area kecil di sekitar piksel yang sedang diproses, dan ukurannya bisa bervariasi (misalnya, 3×3 , 5×5 , dll.).

Proses Spatial Filtering

- Operator **T** diterapkan pada neighborhood untuk menghasilkan nilai piksel output $g(x,y)$.
- Neighborhood digeser dari satu piksel ke piksel berikutnya di seluruh gambar, dan operator **T** dihitung ulang untuk setiap lokasi.
- **Contoh sederhana:** Jika operator **T** adalah "rata-rata intensitas neighborhood", maka nilai $g(x,y)$ adalah rata-rata intensitas dari 9 piksel dalam neighborhood 3×3 .
- **Neighborhood** bersama dengan operator **T** disebut **spatial filter** (atau **kernel**, **mask**, **template**)

Spatial Domain dalam Pemrosesan Gambar, Spatial Filtering



$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

Spatial Filtering: Smoothing Linear Filter

Linear or Non Linear?

- Sebuah proses spatial filtering dapat dikategorikan linear jika operasi yang diiterapkan bersifat linear.

$$w(x, y) \otimes (a f(x, y)) = a w(x, y) \otimes f(x, y)$$

$$w(x, y) \otimes (f(x, y) + g(x, y)) = w(x, y) \otimes f(x, y) + w(x, y) \otimes g(x, y)$$

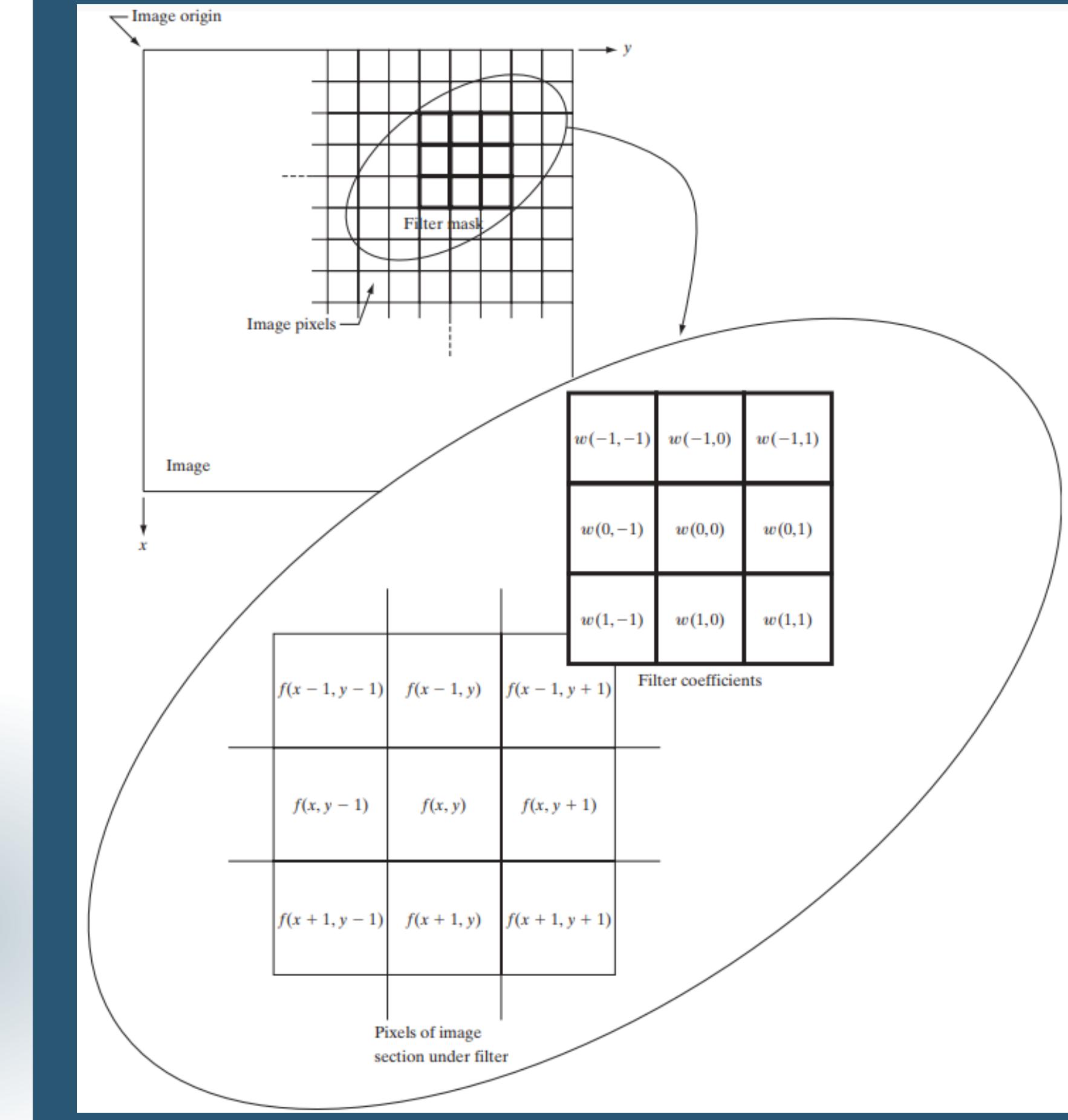
Proses Linear Spatial Filtering

- Filter atau mask w dengan ukuran $m \times n$ dibuat
- Mask kemudian diterapkan pada sebuah gambar dengan ukuran $M \times N$. Ukuran gambar harus sama atau lebih besar dari ukuran mask.
- Selanjutnya dilakukan penghitungan sum of product dari koefisien pada mask dengan pixel di bawahnya

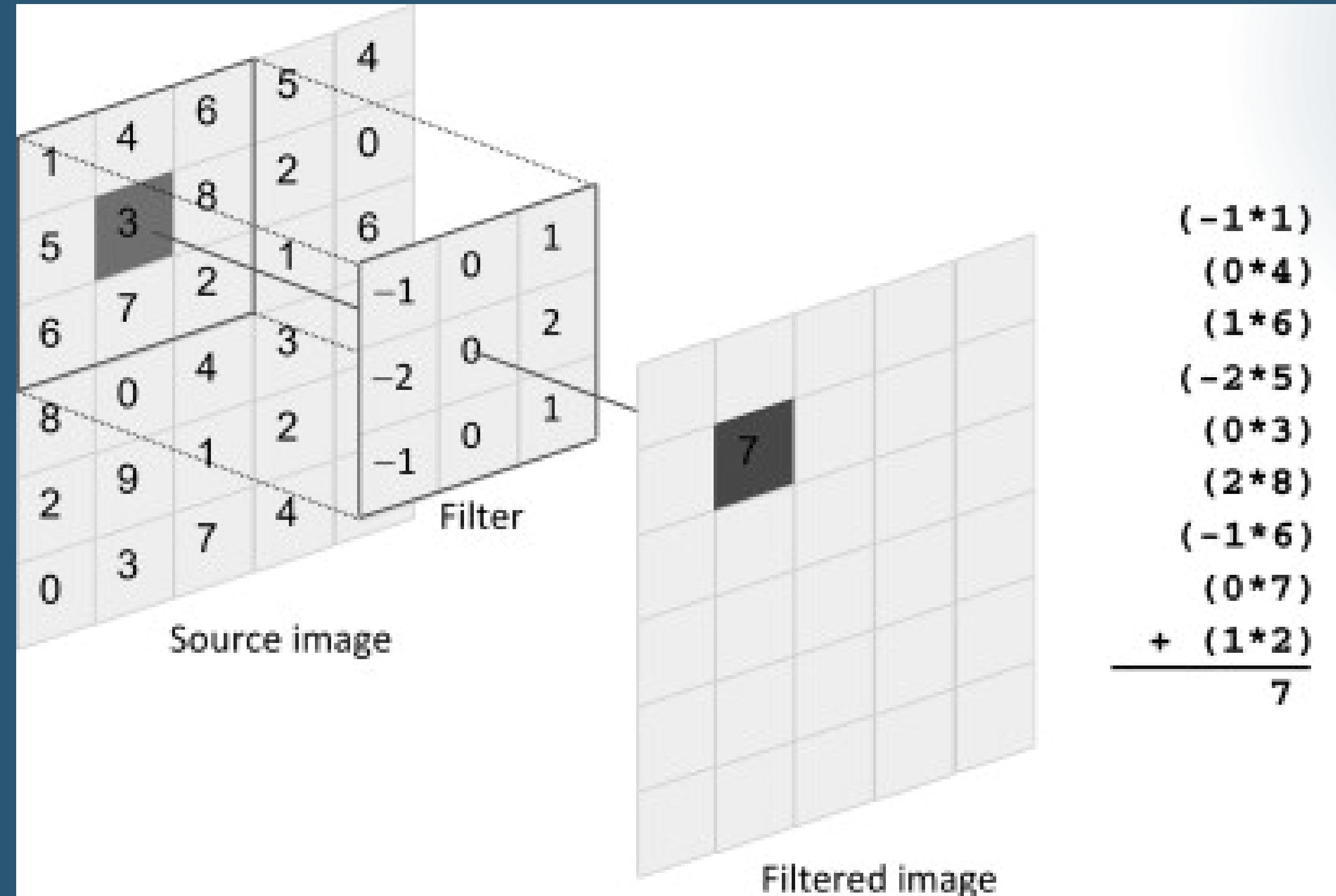
$$\begin{aligned} g(x, y) &= \sum_{s=-m/2}^{m/2} \sum_{t=-n/2}^{n/2} w(s, t) f(x+s, y+t) \\ &= w(x, y) \otimes f(x, y) \end{aligned}$$

$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s, t) f(x + s, y + t)$$

Linear Spatial Filter (atau Cross Correlation)



Easier Representation



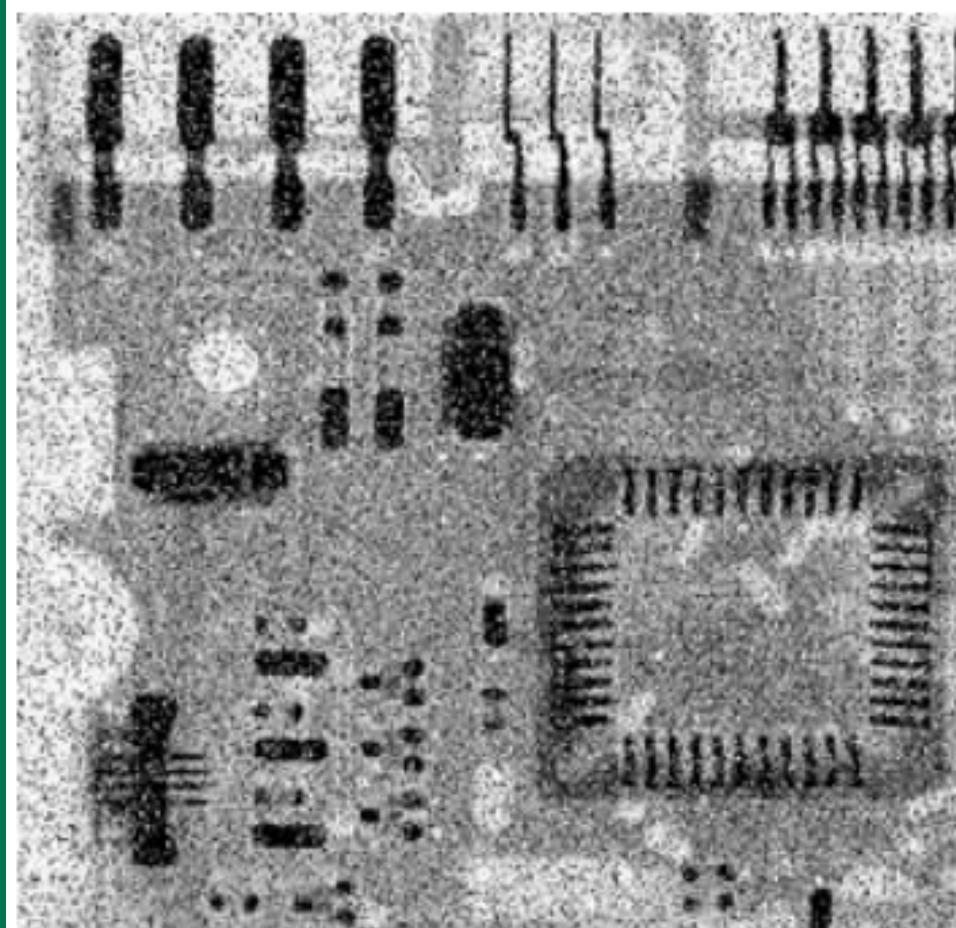
Spatial Filter: Order-Statistic Non-Linear Filter

DEFINISI

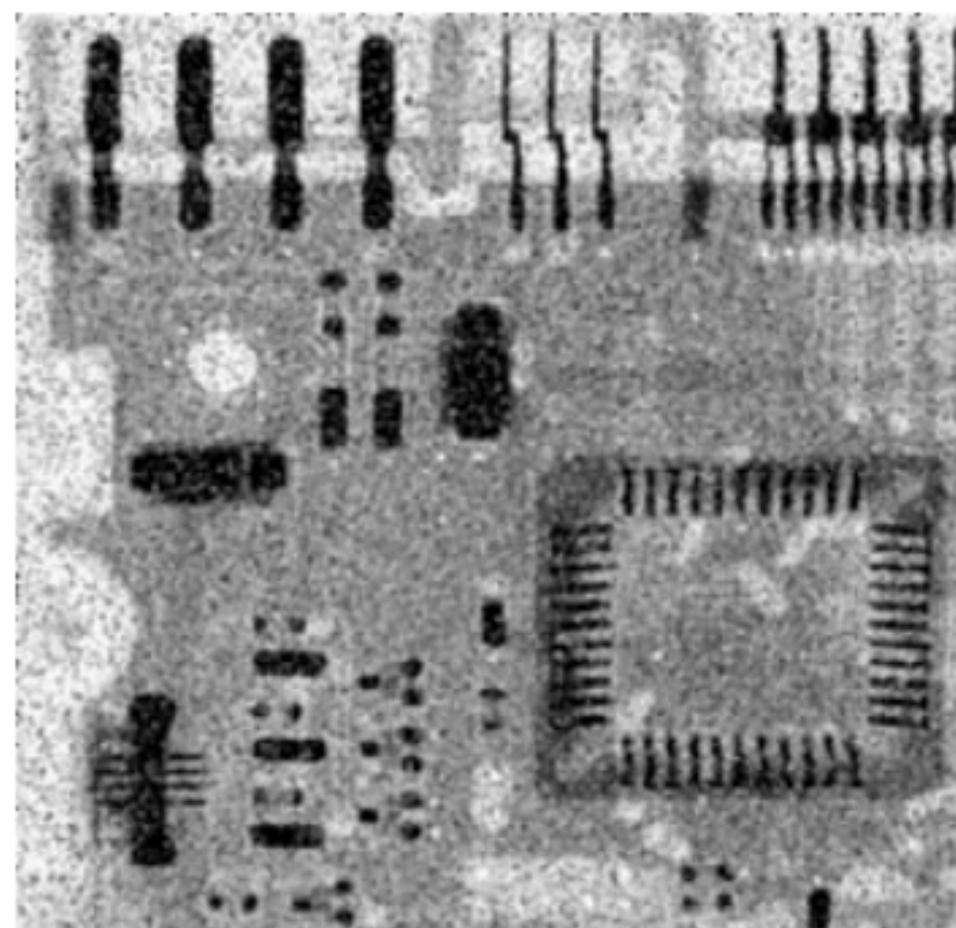
- Merupakan non-linear spatial filter yang menggunakan operasi statistik pada piksel dalam filter window (misalnya, mengambil nilai median).
- Median filter adalah filter terbaik dalam kategori ini, karena mampu meredam jenis noise tertentu, dengan smoothing yang lebih tidak blur dibandingkan linear smoothing filter.

TUJUAN

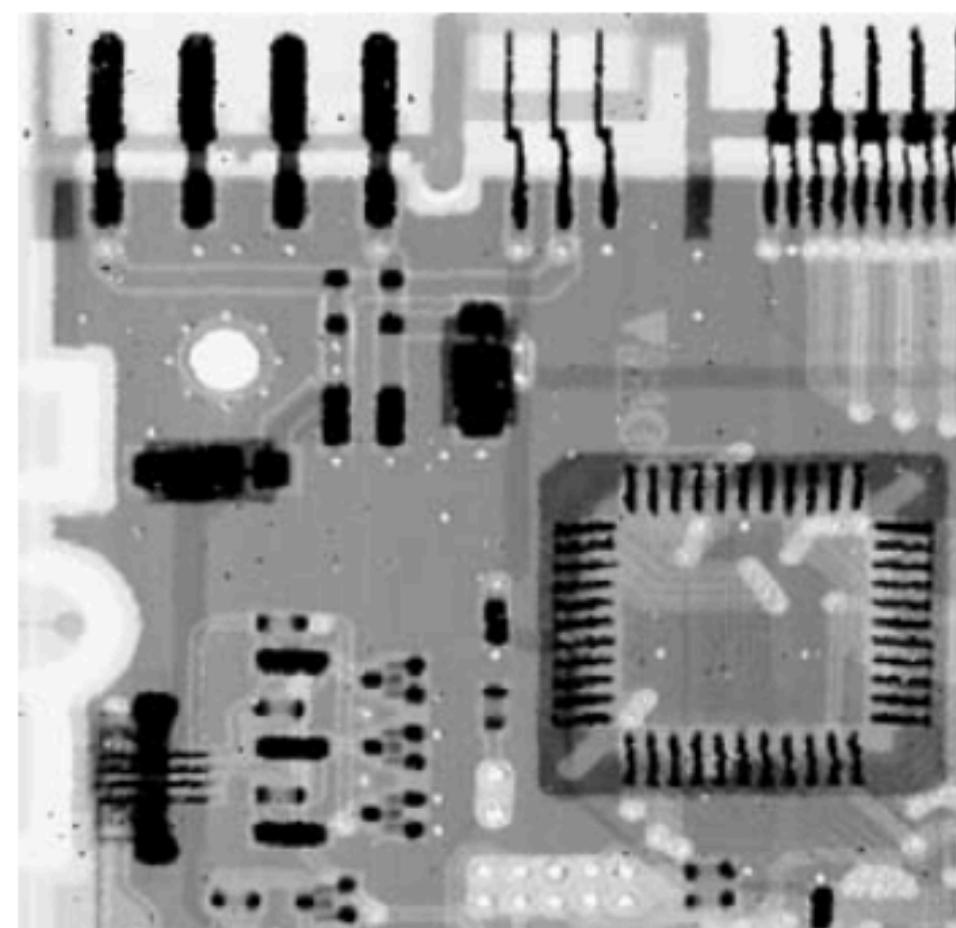
- Mengurangi noise
- Melembutkan perubahan intensitas dalam gambar.



Gambar X-Ray circuit board dengan noise bintik hitam-putih (original)



Noise Reduction dengan 3x3 averaging mask (smoothing mean filter)

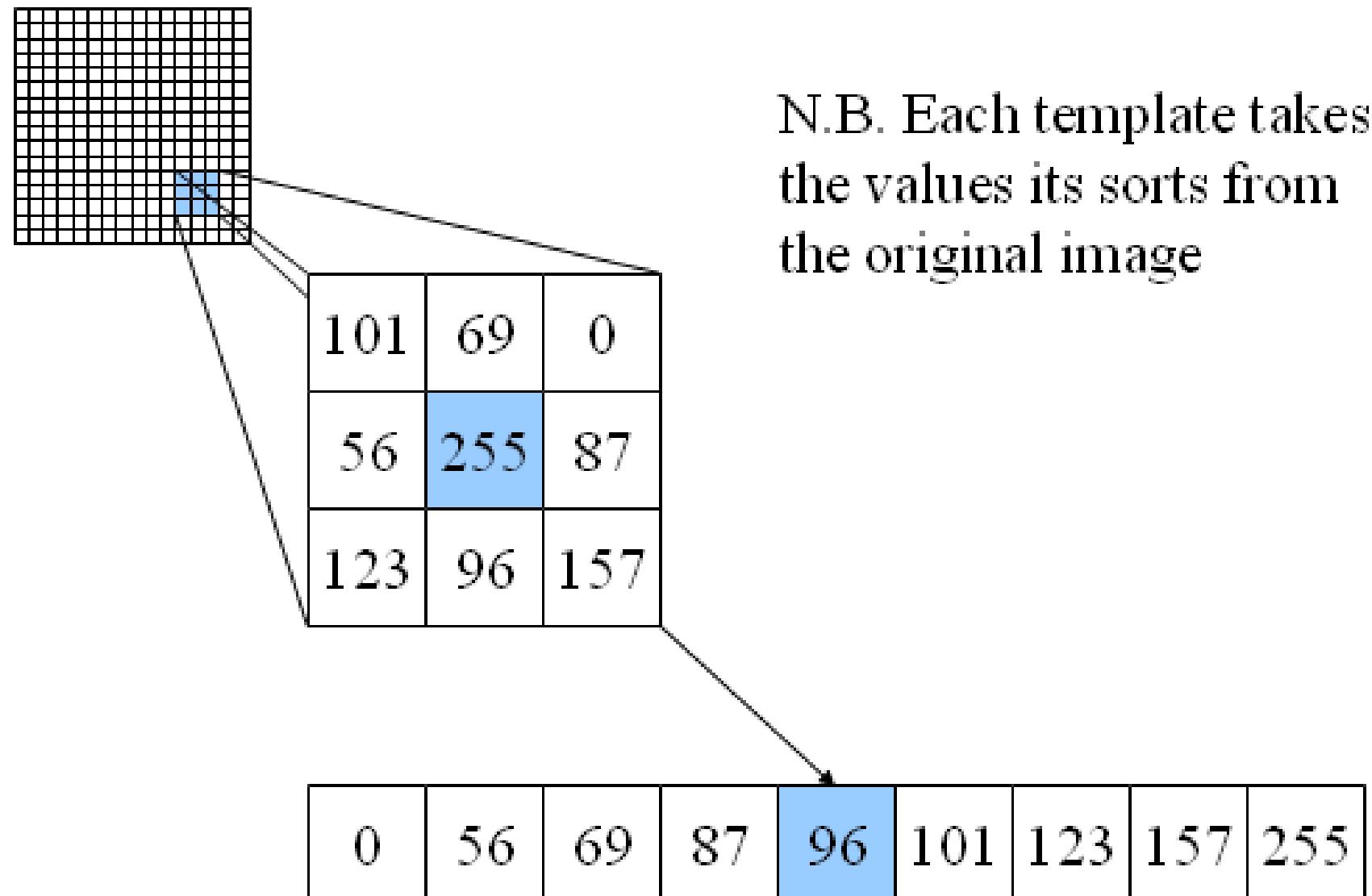


Noise Reduction dengan 3x3 median filter

Spatial Filter: Order-Statistic Non-Linear Filter

CARA KERJA MEDIAN FILTER

- Sebuah window ditempatkan di atas gambar.
- Nilai piksel dalam window diurutkan dari terkecil hingga terbesar.
- Nilai median dari window tersebut diambil sebagai nilai baru piksel tengah.
- Mask dipindahkan ke seluruh gambar hingga semua piksel diproses.
- Contoh: Jika 3×3 window berisi piksel:
 $\{10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50\}$
Maka nilai median adalah 30, yang menjadi nilai piksel tengah.



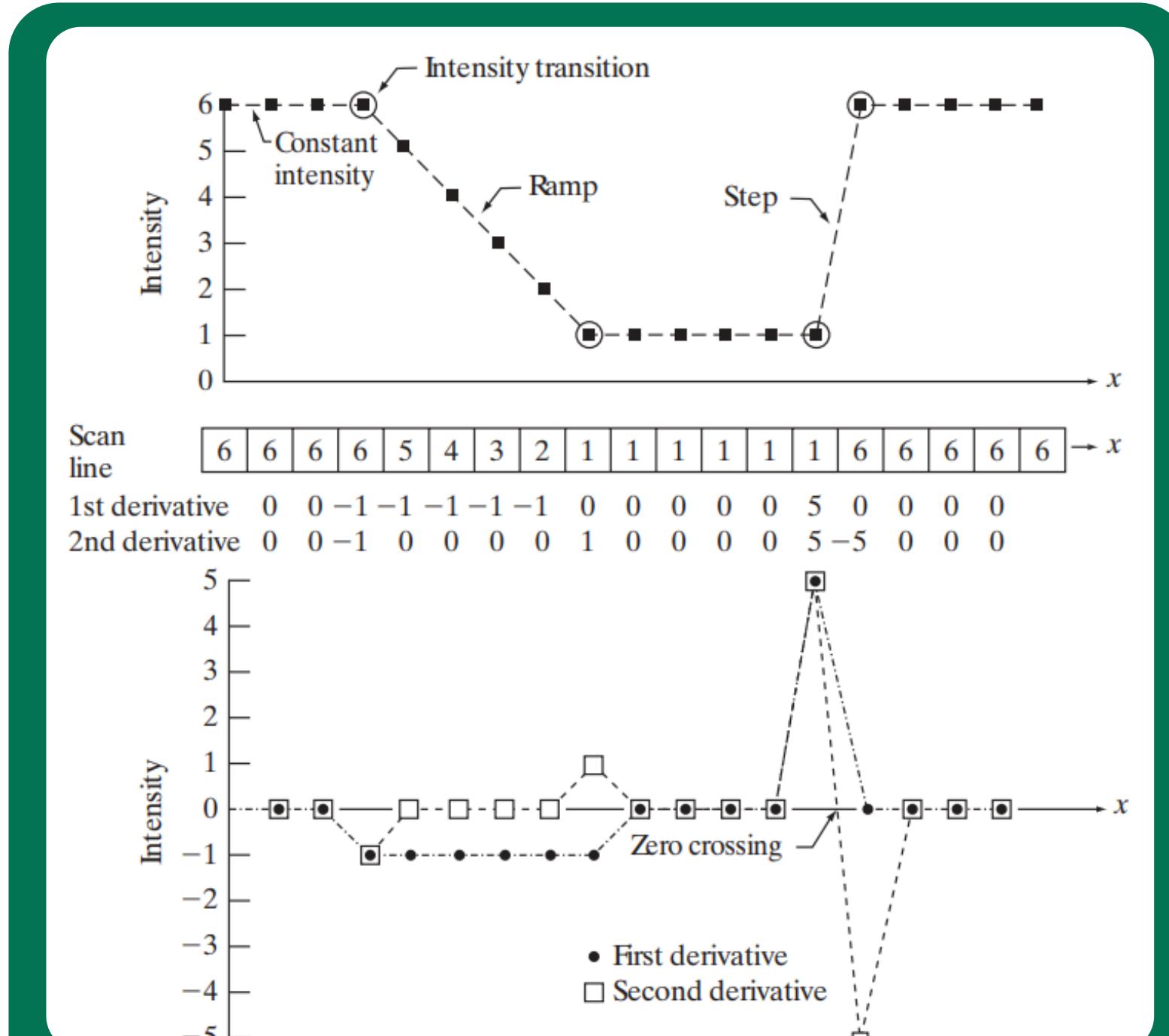
Spatial Transform: Sharpening

FOUNDATION

- Sharpening filters didasarkan pada turunan pertama dan kedua.
- Fokus awal pada turunan satu dimensi untuk memahami bagaimana turunan berperilaku di daerah dengan intensitas konstan, di tepi diskontinuitas (seperti step atau ramp), dan sepanjang gradien intensitas.
- Properti turunan pertama:
 - Nol di daerah dengan intensitas konstan.
 - Tidak nol di awal gradien atau diskontinuitas.
 - Tidak nol di sepanjang ramp.
- Properti turunan kedua:
 - Nol di daerah konstan.
 - Tidak nol di awal dan akhir gradien atau diskontinuitas.
 - Nol di sepanjang ramp dengan kemiringan konstan.

TUJUAN

- Turunan pertama menghasilkan garis tepi yang tebal dalam gambar.
- Turunan kedua menghasilkan garis tepi yang lebih tipis dan lebih akurat dalam menangkap detail.
- Turunan kedua lebih efektif dalam mempertajam detail kecil dibandingkan turunan pertama dan lebih mudah diimplementasikan. Oleh karena itu, lebih banyak digunakan dalam sharpening spatial filters.
- Zero crossing property dari turunan kedua berguna dalam pendektsian tepi.



Zero crossing property dari second derivative, value melewati 0 ketika terjadi step, sehingga lebih mudah mengenali pinggiran objek.

Spatial Transform: Laplacian Sharpening Filter

DEFINISI

- Laplacian Filter adalah filter yang menggunakan operator Laplacian untuk mendeteksi perubahan intensitas dengan cepat.
- Filter ini bekerja dengan menggunakan turunan second order dan membuat filter mask dengan menggunakan rumus tersebut.
- Tujuan Laplacian filter adalah memperjelas tepi dengan menyoroti area dengan perubahan intensitas tinggi.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

Laplacian operator

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

Sehingga

$$\nabla^2 f(x, y) = f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y) \quad (3.6-6)$$

0	1	0	1	1	1
1	-4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1
0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

a b
c d

FIGURE 3.37
(a) Filter mask used to implement Eq. (3.6-6).
(b) Mask used to implement an extension of this equation that includes the diagonal terms.
(c) and (d) Two other implementations of the Laplacian found frequently in practice.

Spatial Transform: Laplacian Sharpening Filter

0	1	0	1	1	1
1	-4	1	1	-8	1
0	1	0	1	1	1
0	-1	0	-1	-1	-1
-1	4	-1	-1	8	-1
0	-1	0	-1	-1	-1

a b
c d

FIGURE 3.37
(a) Filter mask used to implement Eq. (3.6-6).
(b) Mask used to implement an extension of this equation that includes the diagonal terms.
(c) and (d) Two other implementations of the Laplacian found frequently in practice.

Karena definisi Laplacian yang kita gunakan memiliki koefisien pusat negatif, maka kita mengurangkan (bukan menambahkan) gambar Laplacian untuk mendapatkan hasil yang lebih tajam. Dengan demikian, rumus dasar penggunaan Laplacian untuk penajaman citra menjadi:

$$g(x, y) = f(x, y) + c [\nabla^2 f(x, y)]$$

- $f(x, y)$: input
- $g(x, y)$: sharpened image
- c : bernilai -1 jika Laplacian filter yang digunakan adalah jenis a atau b pada fig 3.37. Bernilai 1 jika filter yang digunakan adalah jenis c atau d.

Spatial Transform: Unsharp Masking / Highboost Filtering

DEFINISI

- Unsharp masking adalah sebuah proses yang sering digunakan untuk sharpen gambar.
- Unsharp masking menghaluskan gambar dengan blurring, lalu mengurangi hasilnya dari gambar asli untuk meningkatkan ketajaman.

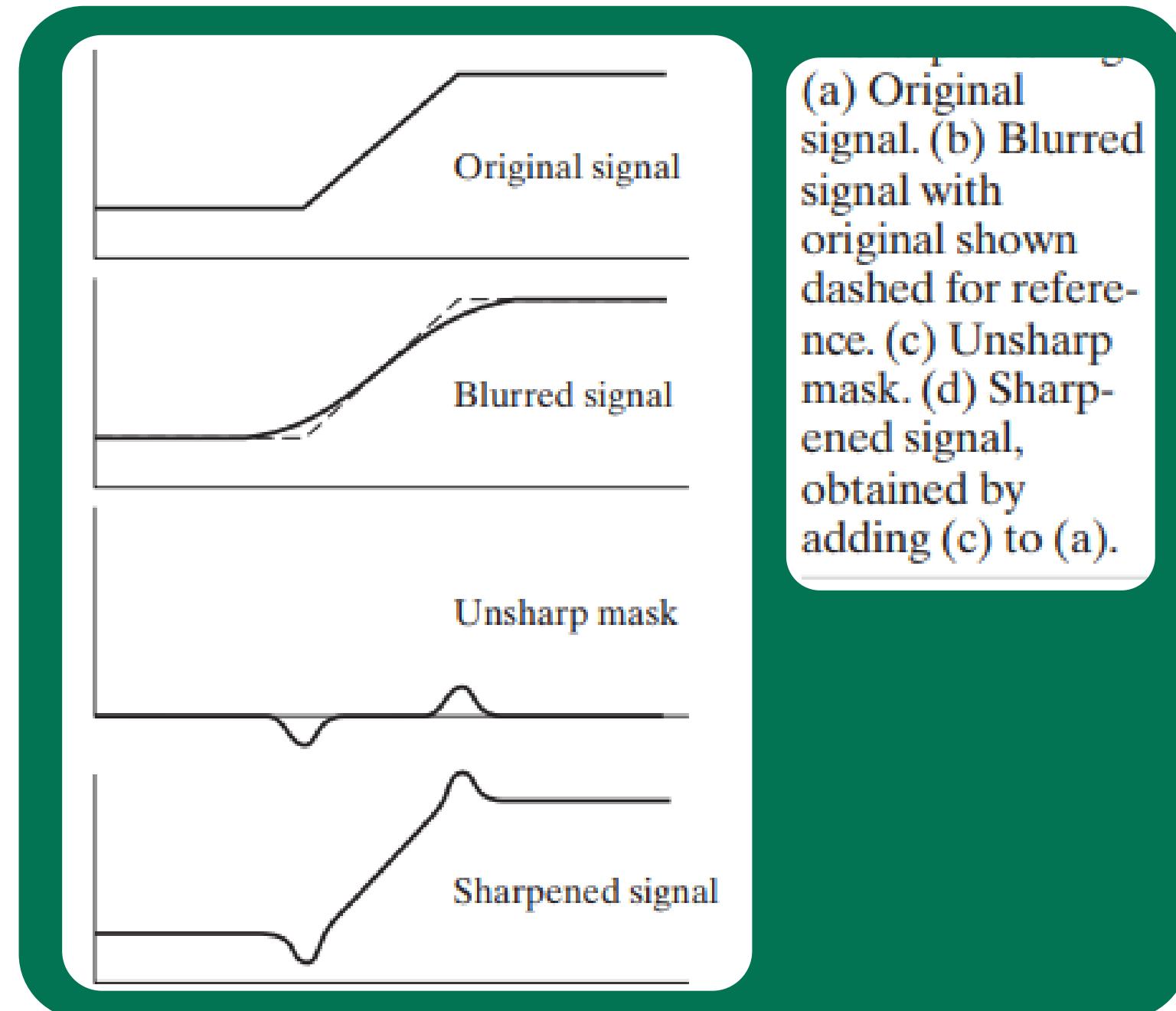
CARA KERJA

- Gambar di-blur menggunakan filter smoothing.
- Hasil blur dikurangkan dari gambar asli untuk mengekstrak detail (hasilnya adalah mask).
- Hasil ini dapat diperkuat menggunakan faktor pengali (boosting factor).

$$g_{\text{mask}}(x, y) = f(x, y) - \bar{f}(x, y)$$

$$g(x, y) = f(x, y) + k * g_{\text{mask}}(x, y)$$

- k : weight. Ketika $k>1$ maka proses disebut highboost filtering. Ketika $k<1$ maka kontribusi unsharp mask akan berkurang.



Spatial Transform: Gradient Filter (First Derivative)

DEFINISI

- Gradient filter adalah teknik dalam pemrosesan citra yang digunakan untuk mendeteksi tepi dengan mengukur perubahan intensitas piksel dalam suatu gambar.
- Gradient dalam konteks citra dianggap sebagai perbedaan intensitas antara piksel yang berdekatan. Jika perubahan intensitas tinggi, artinya keberadaan tepi atau batas objek dalam gambar.

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9



FIGURE 3.41
A 3×3 region of an image (the z_s are intensity values).
(b)–(c) Roberts cross gradient operators.
(d)–(e) Sobel operators. All the mask coefficients sum to zero, as expected of a derivative operator.

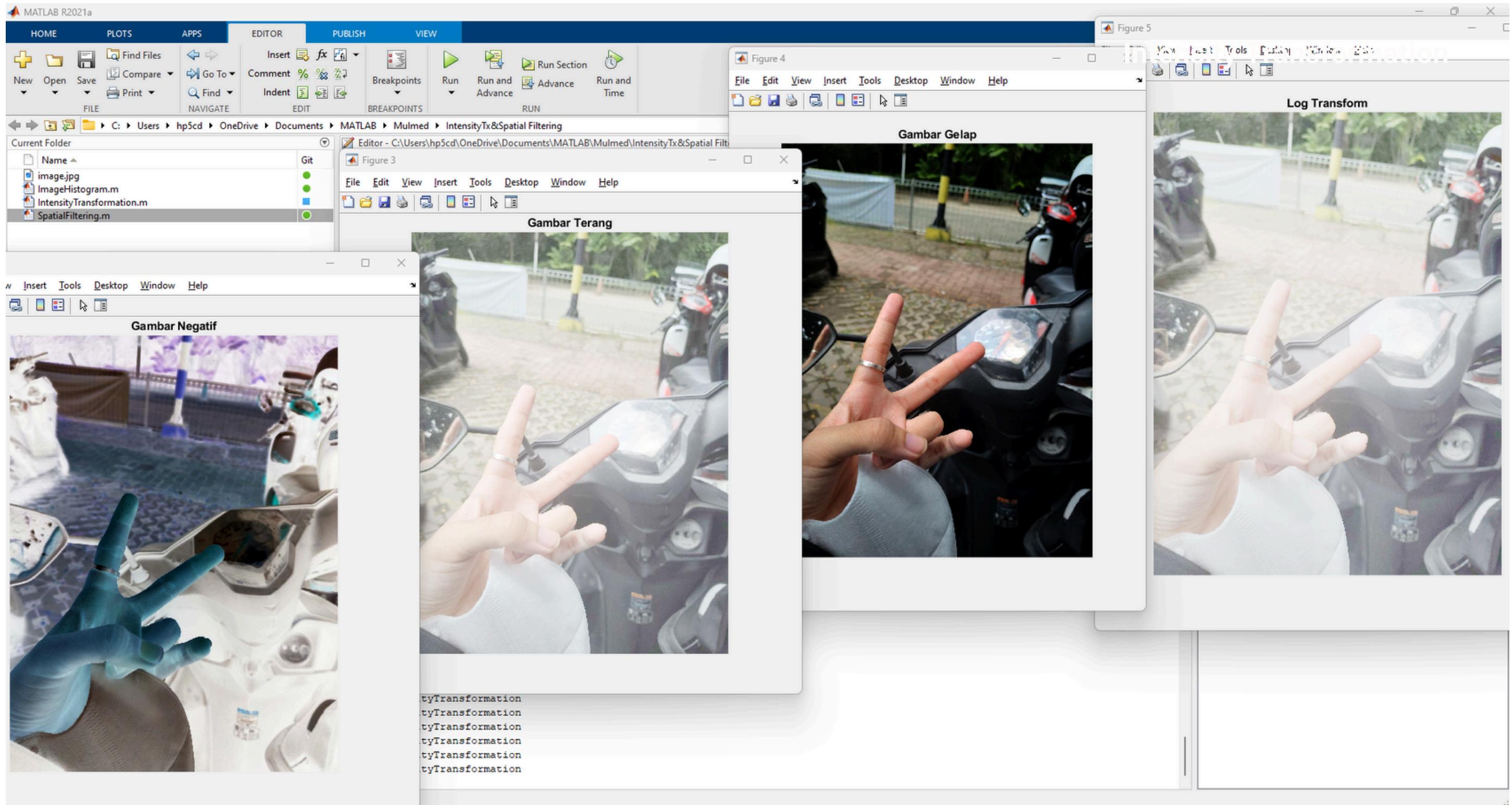
-1	0	
0	1	
-1	-2	-1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

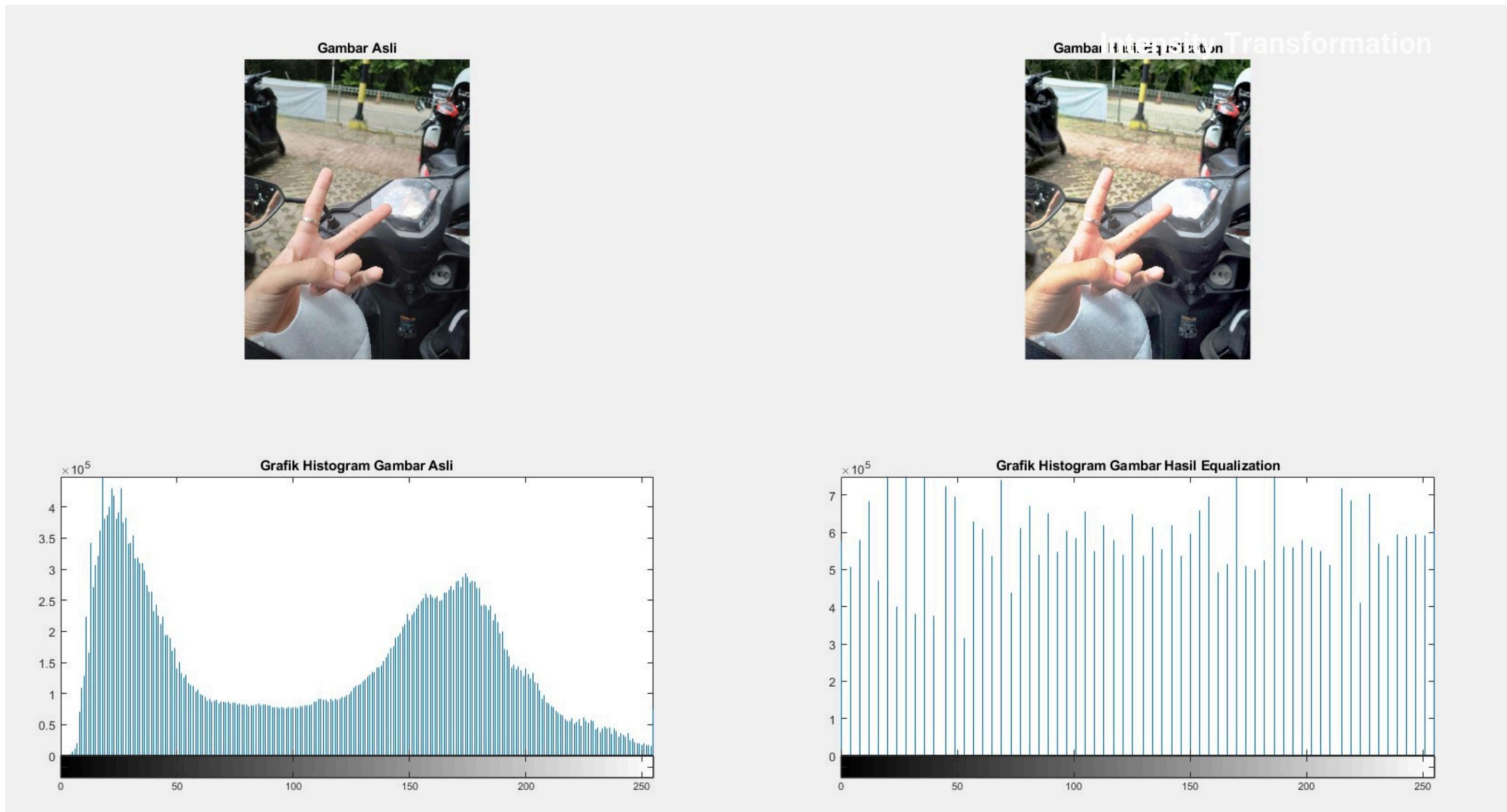
GRADIENT OPERATORS

- Robert cross gradient operators
 - Digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas dalam arah diagonal.
 - Operator kiri mendeteksi gradien dalam satu diagonal (∇x), sedangkan operator kanan untuk diagonal lainnya (∇y).
- Sobel operators
 - Digunakan untuk mendeteksi perubahan intensitas dalam arah horizontal dan vertikal.
 - Matriks kiri adalah Sobel filter untuk deteksi tepi vertikal (G_y).
 - Matriks kanan adalah Sobel filter untuk deteksi tepi horizontal (G_x).
- Sobel lebih kompleks dibanding Roberts karena memperhitungkan lebih banyak piksel dalam perhitungan gradien.

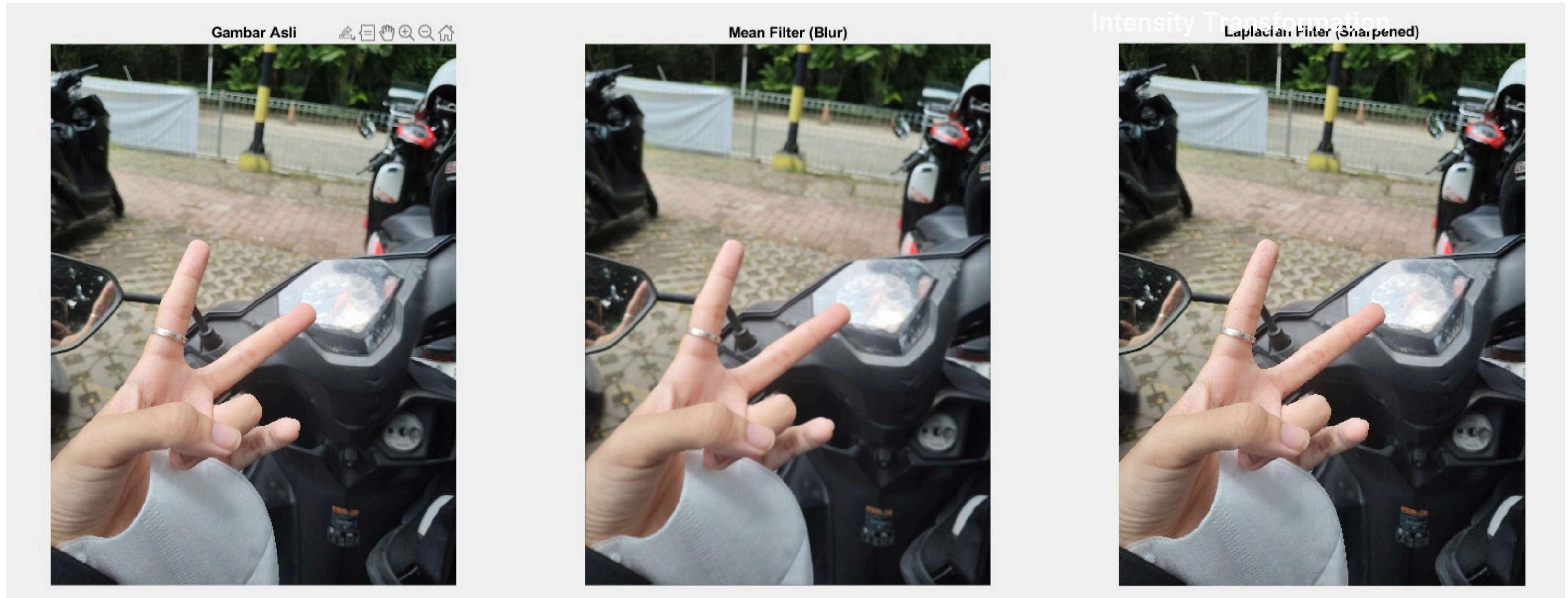
Intensity Transformation



Histogram Equalization



Spatial Transform



Thank You