

Pemrosesan Citra B
Tugas Merangkum Video Enhancement
Dosen Pengampu:
Ir.Kartono Pinaryanto S.T., M.Cs.



Oleh Kelompok 1 :
Samuel Jeremiah H.S / 235314009
Samuel Santoso / 235314011
Chandra Sekhara / 235314020
Kristoforus Irgivensa Arielino / 235314022
Sensus Sandi / 235314027

PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SANATA DHARMA

2025

VIDEO BAGIAN 1: https://youtu.be/8o_d0YAnEOw?si=jvNsneq7mls0g_WE

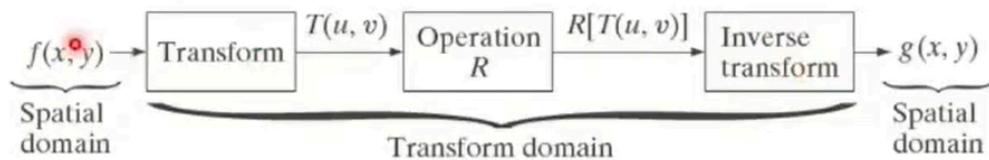
Image Enhancement adalah suatu proses awal (preprocessing) yang memperbaiki kualitas citra, bertujuan untuk memperoleh citra yang lebih sesuai digunakan untuk aplikasi lebih lanjut (contoh mengenali objek dalam citra). Mengapa kualitas citra buruk karena citra yang ditangkap sensor sering mengandung noise, terlalu terang/gelap, kabur akibat pergerakan, atau mengalami distorsi geometri dan cacat lensa (blurring, motion blurring), maka perlu perbaikan kualitas penting untuk aplikasi seperti pengenalan wajah. Pembagian metode image enhancement menjadi 2 kategori:

- Ranah Spasial (langsung memproses nilai piksel)
- Ranah Frekuensi (mentransformasi nilai piksel ke domain frekuensi)

- Spatial Domain



- Frequency Domain (misalnya menggunakan *Fourier Transform*)



Operasi Ranah Frekuensi yaitu transformasi dari spasial ke frekuensi (koordinat u,v), operasi perbaikan, dan transformasi invers kembali ke ranah spasial (x,y).

Metode ranah spasial memanipulasi citra secara langsung, sementara ranah frekuensi mentransformasi citra terlebih dahulu. Kedua ranah memiliki tujuan spesifik. Rumus dasar transformasi ranah spasial

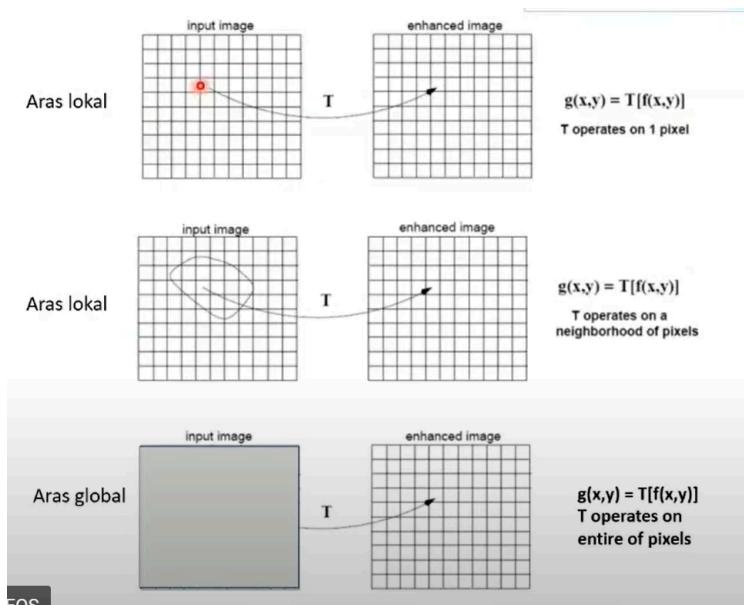
- Misalkan:

- $f(x, y)$: citra input
- $g(x, y)$: citra output
- T adalah operator terhadap f

- Metode pemrosesan citra dalam ranah spasial dinyatakan sebagai:

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

- Operator **T** dapat beroperasi pada: Aras Titik (satu piksel), Aras Lokal (sekelompok tetangga piksel), atau Aras Global (seluruh piksel).



Proses-Proses yang Termasuk ke dalam Proses Perbaikan Kualitas Citra:

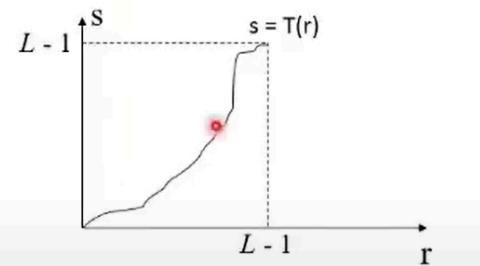
- Pengubahan Kecerahan Gambar (Image Brightening)
- Citra Negatif (Image Negatives)
- Peregangan Kontras (Contrast Stretching)
- Pengubahan Histogram Citra
- Pelembutan Citra (Image Smoothing)
- Penajaman (sharpening) tepi (edge)
- Pewarnaan Semu (pseudocoloring)
- Pengubahan Geometrik
- dll

Pemrosesan Aras Titik: Fokus pada operasi aras titik (memproses piksel tunggal). Rumus transformasi umum $s=T(r)$, di mana r adalah nilai keabuan lama dan s adalah nilai keabuan baru:

- $g(x,y) = T [f(x,y)]$
- T hanya beroperasi pada pixel tunggal
- T adalah fungsi transformasi nilai *grayscale*, sehingga ditulis:

$$s = T(r)$$

r : variabel yang menyatakan nilai *grayscale* $f(x,y)$
 s : variabel yang menyatakan nilai *grayscale* $g(x,y)$



Contoh-Contoh Image Enhancement dalam Aras Titik:

- Mencerahkan Citra (Image Brightening)
- Mengaktifkan Citra (Image Negatives)
- Peregangan Kontrast (Contrast Stretching)
- Gamma Correction
- dll

1. Pencerahan citra (Image brightening)

- Kecerahan citra dapat diperbaiki dengan menambahkan/mengurangkan sebuah konstanta kepada (atau dari) setiap pixel, atau mengalikan sebuah konstanta ke setiap pixel..

$$r = s + b$$

- Jika b positif, kecerahan citra bertambah, jika b negatif kecerahan citra berkurang
- Perlu operasi *clipping* jikan nilai $r + b$ berada dibawah nilai intensitas minimum atau di atas nilai intensitas maksimum:

jika $r + b > 255$, maka $s = 255$

jika $r + b < 0$, maka $s = 0$

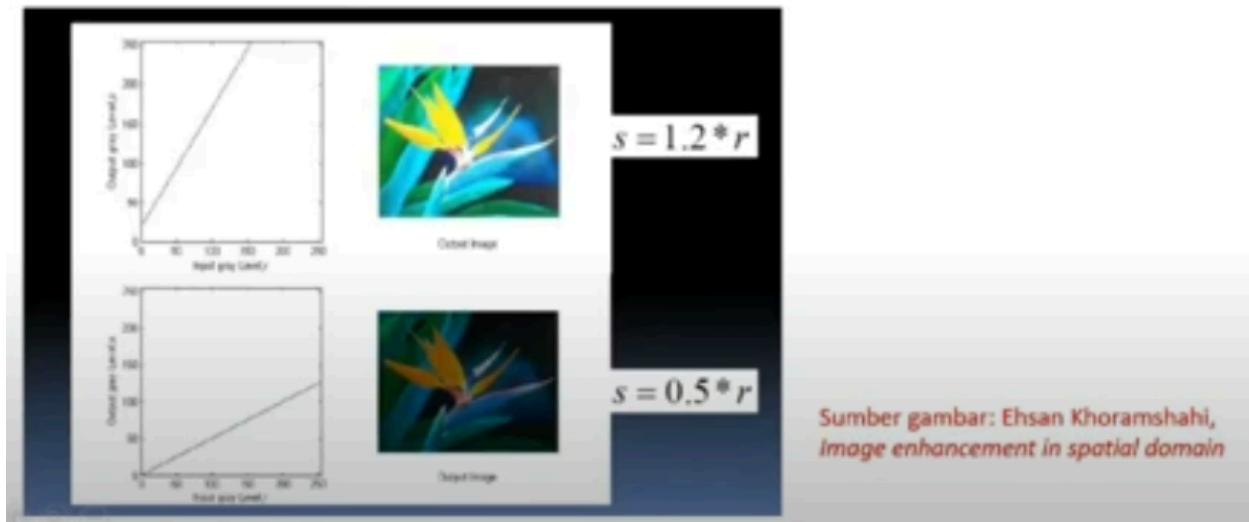


Gambar Kiri: citra Zelda (agak gelap); kanan: citra Zelda setelah operasi pencerahan citra, $\delta = 100$

- Operasi pencerahan yg lain adalah menggunakan rumus:

$$r = qs + b$$

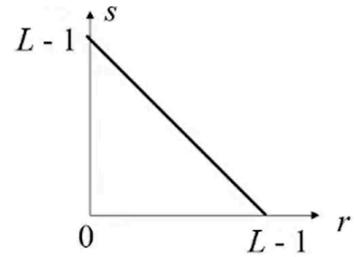
A dan b adalah konstanta



2. Mengaktifkan Citra (Image Negative)

Operasi kedua membuat citra negatif, yang membalikkan nilai keabuan ($s=L-1-r$).

- Seperti film negatif pada fotografi.
- Misalkan citra memiliki L derajat keabuan
- Caranya: kurangi nilai intensitas pixel dari nilai keabuan maksimum ($L - 1$)



$$s = (L - 1) - r$$

Contoh pada citra grayscale 8-bit:

$$s = 255 - r$$



Citra negatif sangat berguna untuk citra yang memiliki banyak area hitam, seperti mamografi dan foto Rontgen, karena dapat memperjelas jaringan.

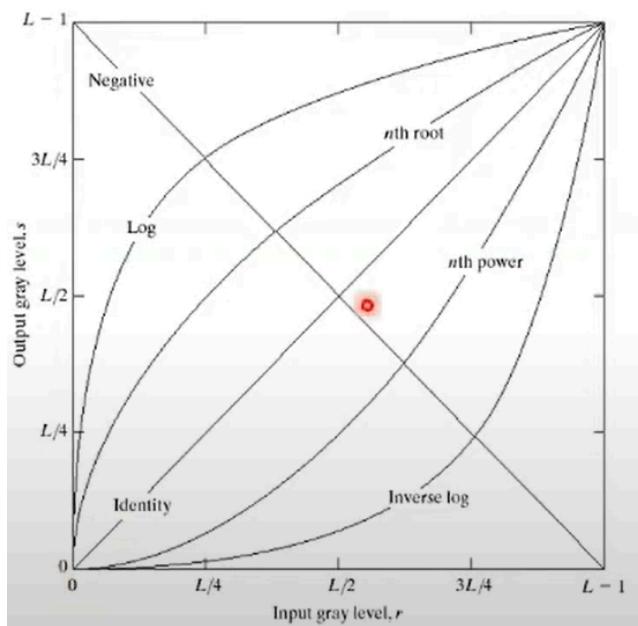
- Menegatifkan citra adalah salah satu fungsi transformasi linier. Selain transformasi linier, terdapat tiga fungsi transformasi dasar keabuan:

1. Fungsi linier
 - Transformasi negatif dan transformasi identitas
2. Fungsi logaritma
 - Transformasi log dan inverse-log

$$F(x) = \log(x)$$

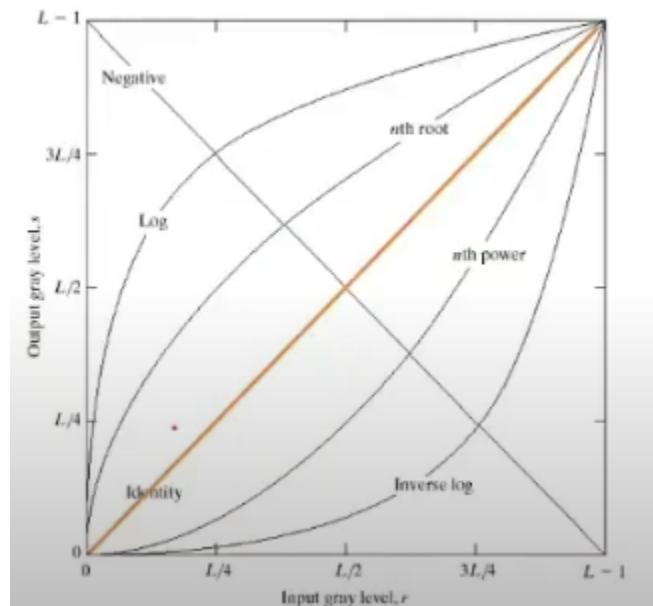
$$f(x) =$$

3. Fungsi pangkat
 - Transformasi pangkat n dan transformasi akar pangkat n
 - $s = r^2$



a) Transformasi identitas

- Nilai keabuan citra output sama dengan keabuan citra *input*
- Dimasukkan ke dalam grafik hanya untuk melengkapi



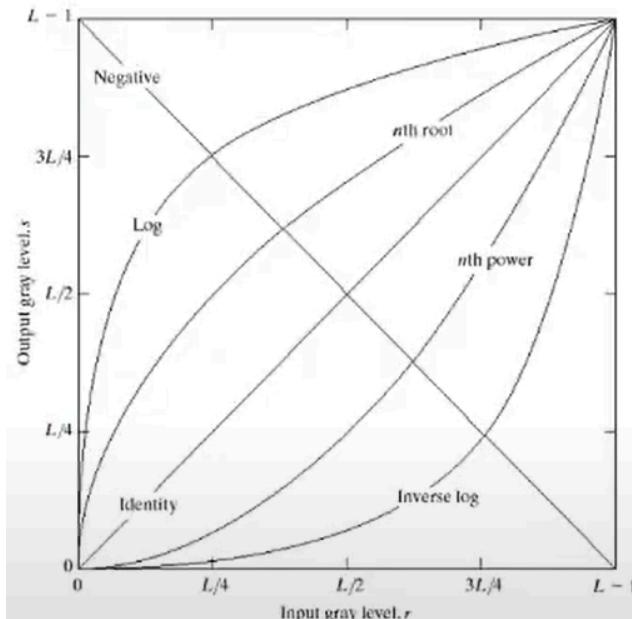
b) Transformasi Log

- Fungsi $s = c \log(1+r)$

Memiliki sifat:

1. Untuk citra yang memiliki rentang yang sempit untuk nilai-nilai keabuan yang rendah (gelap), dipetakan menjadi rentang yang lebih luas pada citra luaran
2. Untuk citra yang memiliki rentang yang lebar untuk nilai-nilai keabuan yang lebih tinggi (terang), dipetakan menjadi rentang yang lebih sempit pada citra luaran.

Pada transformasi log balikan (inverse), yang terjadi adalah kebalikannya.

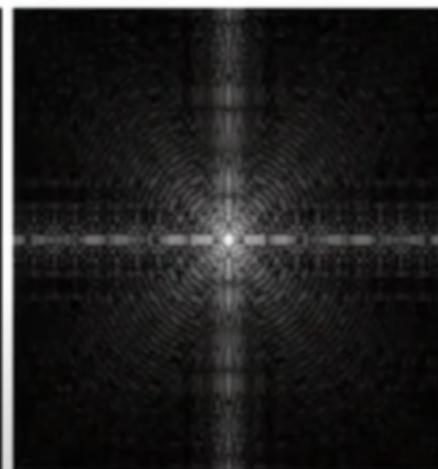


Application:

- Transformasi ini cocok untuk kasus di mana rentang dinamis gambar yang diproses jauh melebihi kemampuan perangkat tampilan (misalnya, tampilan spektrum Fourier dari sebuah gambar)
- Juga disebut “kompresi/ekspansi rentang dinamis”



Fourier spectrum with values of range 0 to 1.5×10^6 scaled linearly



The result applying log transformation,
 $c = 1$

$$\begin{array}{c} f(x,y) \\ F(f(x,y)) \\ \downarrow \\ -400\text{a.u.} \rightarrow +40\text{a.u.} \end{array}$$

- c) Transformasi Pangkat
- Fungsi pangkat:

$$s = cr^\gamma$$

C dan γ adalah konstanta positif

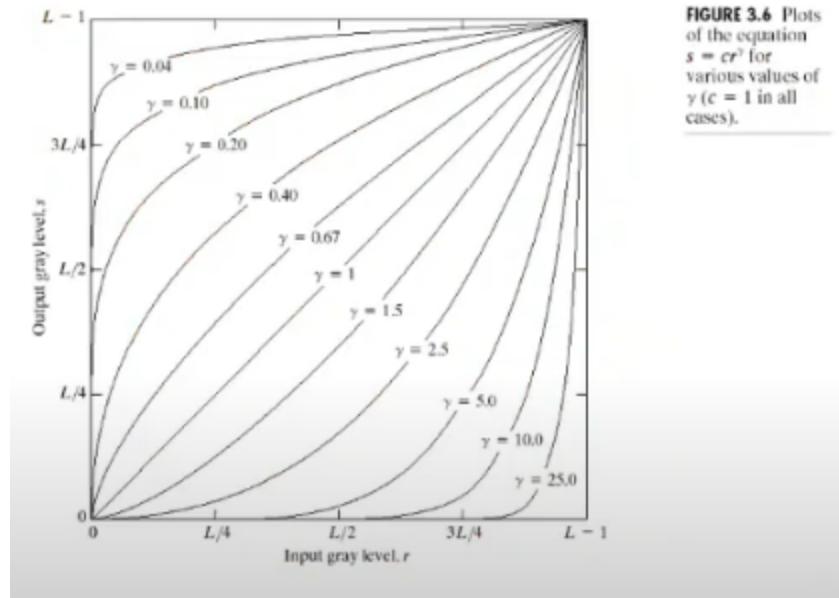


FIGURE 3.6 Plots of the equation $s = cr^\gamma$ for various values of γ ($c = 1$ in all cases).

Hukum pangkat (power-law):

Untuk $y < 1$: Mengekspansi nilai-nilai pixel gelap, mengurangi nilai-nilai pixel terang

Untuk $y > 1$: Mengurangi nilai-nilai pixel gelap, mengekspansi nilai-nilai pixel terang

Jika $y = 1$ & $c = 1$: Transformasi identitas ($s = r$)

Berdasarkan devais (image capture, printing, display) melakukan respon berdasarkan hukum-pangkat dan perlu dikoreksi

Gamma (y) correction

Proses yang digunakan untuk mengoreksi fenomena hukum-pangkat

VIDEO BAGIAN 2: https://youtu.be/Lnew1c1_504?si=zUBGm160GYPvslGW

Image enhancement – Bagian 2

Peregangan Kontras (revisited)

- Tinjau kembali topik peregangan kontras (*contrast stretching*).
- Peregangan kontras termasuk ke dalam fungsi transformasi sepotong-sepotong (*piece-wise linear transformation function*).

Gambar grafik (transformasi linear sepotong-sepotong dengan titik $(r_1,s_1)(r_1, s_1)(r_1,s_1)$ dan $(r_2,s_2)(r_2, s_2)(r_2,s_2)$).

Fungsi transformasi linier sepotong-sepotong:

1. *Contrast stretching*
2. *Gray-level slicing*
3. *Bit-plane slicing*

Peregangan kontras merupakan metode sederhana untuk memperbaiki cara yang memiliki kontras rendah. Ciri ciri kontras rendah itu histogram menyempit di tengah.

Untuk menentukan (r_1) dan (r_2) pada contrast stretching, langkahnya adalah dengan mencari nilai pixel minimum (r_{\min}) dan maksimum (r_{\max}). Pixel yang nilainya di bawah (r_{\min}) diset ke 0, sedangkan pixel di atas (r_{\max}) diset ke $(L-1)$.

Dengan demikian, $(r_1 = r_{\min})$ dan $(r_2 = r_{\max})$. Selanjutnya dibuat persamaan garis linear yang menghubungkan titik $((r_{\min}, 0))$ dan $((r_{\max}, L-1))$, lalu semua nilai pixel di antara (r_{\min}) dan (r_{\max}) dipetakan menggunakan persamaan garis tersebut agar distribusi intensitas citra lebih optimal.

Example:

Ada dua titik acuan digunakan yaitu $((r_{\min}, 0))$ dan $((r_{\max}, L-1))$ dengan (L) biasanya 256, sehingga nilai keluaran (s) dapat dihitung melalui persamaan garis linear. Rumusnya adalah $((s-0)/(255-0) = (r-r_{\min})/(r_{\max}-r_{\min}))$.

sehingga diperoleh $(s = 255(r-r_{\min})/(r_{\max}-r_{\min}))$. Dengan persamaan ini, setiap nilai intensitas input (r) yang berada antara (r_{\min}) dan (r_{\max}) akan dipetakan ke rentang penuh 0 hingga 255, sehingga kontras citra meningkat secara optimal.

ALTERNATIF LAIN FUNGSI TRANSFORMASI SEPOTONG-SEPOTONG

Bentuk fungsi piecewise

$$y = \begin{cases} \frac{y_1}{x_1} \cdot x, & 0 \leq x \leq x_1 \\ \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot x + y_1, & x_1 < x < x_2 \\ \frac{255 - y_2}{255 - x_2} \cdot x + y_2, & x_2 < x < 255 \end{cases}$$

Atau dalam bentuk lain:

$$y = \begin{cases} \alpha x, & 0 \leq x < a \\ \beta(x - a) + y_a, & a \leq x < b \\ \gamma(x - b) + y_b, & b \leq x < L \end{cases}$$

Persamaan garis L1:

$$y = \frac{y_1}{x_1} \cdot x$$

Persamaan garis L2:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot x + y_1$$

Persamaan garis L3:

$$y = \frac{255 - y_2}{255 - x_2} \cdot x + y_2$$

Histogram Enhancement

- Histogram memberikan informasi tentang kualitas citra.
- Citra gelap, citra terang, dan yang memiliki kontras rendah memiliki histogram yang tidak merata penyebarannya.

Agar dapat memiliki histogram citra sesuai dengan keinginan kita, maka penyebaran nilai-nilai intensitas pada citra harus diubah.

Dua metode pengubahan citra berdasarkan histogram:

1. Perataan histogram (histogram equalization)

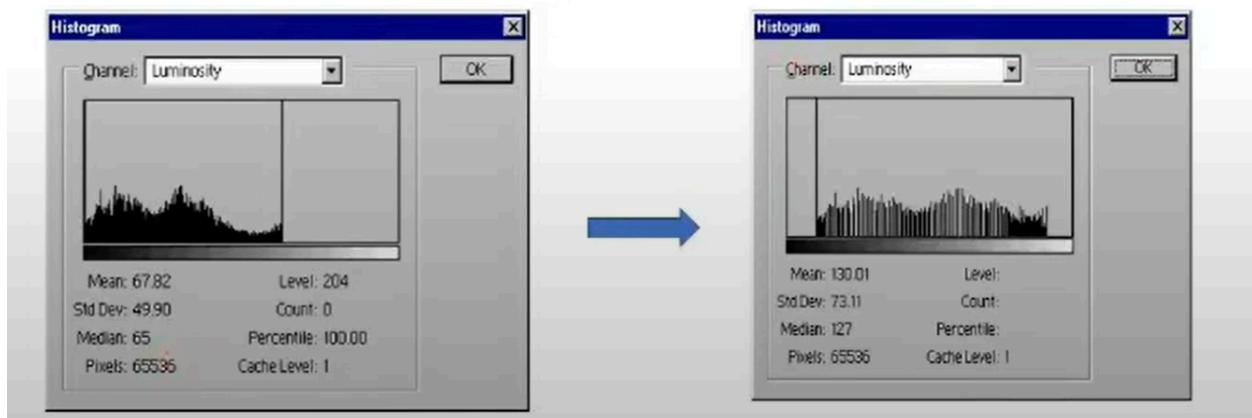
Nilai-nilai intensitas di dalam citra diubah sehingga penyebarannya seragam (*uniform*).

2. Spesifikasi histogram (histogram specification)

Nilai-nilai intensitas di dalam citra diubah agar diperoleh histogram dengan bentuk yang dispesifikasikan oleh pengguna

1. Perataan Histogram

- *Histogram equalization*
- Tujuan: untuk memperoleh penyebaran histogram yang merata, sedemikian sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah *pixel* yang relatif sama.
- Memperlebar rentang nilai keabuan, sehingga dapat meningkatkan kekontrasan citra.
- Termasuk operasi dalam aras global.



- Histogram ternormalisasi menyatakan peluang *pixel* dengan derajat keabuan tertentu:

$$h_k = \frac{n_k}{n}$$

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n}$$

(n_k) = jumlah *pixel* dengan nilai keabuan (r_k)

(n) = jumlah seluruh *pixel* di dalam citra

- Misalkan nilai keabuan (r) juga dinormalkan terhadap nilai keabuan maksimum:

$$r_k = \frac{k}{L-1} \quad , \quad 0 \leq k \leq L-1$$

Perataan histogram artinya mengubah derajat keabuan r dengan derajat keabuan yang baru, s , dengan fungsi transformasi T :

$$s = T(r)$$

Sifat:

1. $T(r)$ adalah fungsi bernilai tunggal (*single-value*) yang naik monoton di dalam selang $0 \leq r \leq 1$.
2. $0 \leq T(r) \leq 1$ untuk $0 \leq r \leq 1$.
3. $r = T^{-1}(s)$ untuk $0 \leq s \leq 1$.

Fungsi Histogram

1. Untuk Fungsi Histogram yang Menerus:

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w) dw, \quad 0 \leq r \leq 1$$

2. Dalam Bentuk Diskrit:

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j)$$

Dengan:

- $0 \leq r_k \leq 1$
- $k = 0, 1, 2, \dots, L - 1$

Keterangan:

- s : nilai keabuan baru setelah transformasi.
- r : nilai keabuan asli.
- $P_r(r_j)$: peluang pixel dengan nilai keabuan r_j .
- n_j : jumlah pixel dengan nilai keabuan r_j .
- n : jumlah seluruh pixel di dalam citra.
- L : jumlah tingkat keabuan.

Meskipun perataan histogram bertujuan menyebarkan secara merata nilai-nilai derajat keabuan, tetapi seringkali histogram hasil perataan tidak benar-benar tersebar secara merata (misalnya pada contoh di atas). Alasannya adalah:

1. Derajat keabuan terbatas jumlahnya. Nilai intensitas baru hasil perataan merupakan pembulatan ke derajat keabuan terdekat.
2. Jumlah *pixel* yang digunakan sangat terbatas.

Agar hasil perataan benar-benar seragam sebarannya, maka citra yang diolah haruslah dalam bentuk malar (*continue*), yang dalam praktek ini jelas tidak mungkin.

Perbaikan Lokal dengan Perataan Histogram

- Perataan histogram tidak hanya dilakukan untuk keseluruhan pixel di dalam citra, tetapi juga hanya untuk area tertentu (ROI atau region of interest) di dalam citra.
- Ini artinya kita melakukan perbaikan secara lokal dengan metode perataan histogram.

2. Spesifikasi Histogram

- Perataan histogram memetakan histogram citra semula menjadi histogram yang seragam.
- Bila histogram yang diinginkan tidak seragam, maka cara ini tidak dapat digunakan.
- Metode **spesifikasi histogram** (*histogram specification*) atau **pencocokan histogram** (*histogram matching*) memberikan cara menghasilkan histogram yang ditentukan oleh pengguna.
- Cara pembentukan histogramnya memanfaatkan sifat pada perataan histogram.
- Bila fungsi transformasi pada perataan histogram menghasilkan histogram semula menjadi histogram yang seragam, maka fungsi balikannya (inverse) memetakan histogram yang seragam menjadi histogram semula.
- Sifat ini dapat dimanfaatkan untuk mengubah histogram citra menjadi histogram lain yang tidak seragam.
- Misalkan $P_r(r)P_{r'}(r')Pr(r)$ dan $P_z(z)P_{z'}(z')Pz(z)$ masing-masing adalah histogram citra semula dan histogram yang diinginkan.
- Fungsi transformasi $T(r)$ mula-mula memetakan intensitas citra semula menjadi histogram yang seragam dengan cara perataan histogram,

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w) dw$$

- Jika histogram yang diinginkan sudah dispesifikasikan, kita dapat melakukan perataan histogram pula dengan fungsi transformasi G :

$$v = G(z) = \int_0^z P_z(w) dw$$

- Balikan (*inverse*) dari fungsi G,

$$z = G^{-1}(v)$$

akan menghasilkan histogram yang diinginkan kembali.

- Dengan mengganti vvv dengan sss pada persamaan yang terakhir,

$$z \approx G^{-1}(s)$$

- maka kita dapat memperoleh nilai intensitas yang diinginkan.

- Hasil yang diperoleh merupakan hampiran karena kita mencoba menemukan nilai sss yang transformasinya mendekati nilai z.

Perbaikan Lokal dengan Perataan Histogram

- Perataan histogram tidak hanya dilakukan untuk keseluruhan *pixel* di dalam citra, tetapi juga hanya untuk area tertentu (ROI atau *region of interest*) di dalam citra.
- Ini artinya kita melakukan perbaikan secara lokal dengan metode perataan histogram.

Algoritma spesifikasi histogram adalah sebagai berikut:

1. Misalkan $P_r(r)$ adalah histogram citra semula. Lakukan perataan histogram terhadap citra semula dengan fungsi transformasi T ,

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw$$

Dalam bentuk diskrit, nilai-nilai s diperoleh dengan persamaan berikut:

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_r(r_j)$$

2. Tentukan histogram yang diinginkan, misalkan $P_z(z)$ adalah histogram yang diinginkan. Lakukan perataan histogram dengan fungsi transformasi G ,

$$v = G(z) = \int_0^z P_z(w) dw$$

Dalam bentuk diskrit, nilai-nilai v diperoleh dengan persamaan berikut:

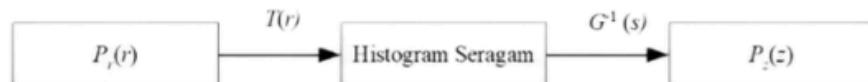
$$v_k = G(z_k) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} = \sum_{j=0}^k P_z(z_j)$$

3. Terapkan fungsi transformasi balikan, $z = G^{-1}(s)$ terhadap histogram hasil langkah 1. Caranya adalah dengan mencari nilai-nilai s yang memberi nilai z terdekat.

- Dengan kata lain, histogram nilai-nilai intensitas pada citra semula dipetakan menjadi intensitas z pada citra yang diinginkan dengan fungsi

$$z = G^{-1}[T(r)]$$

- Ketiga langkah di dalam algoritma spesifikasi histogram di atas digambarkan dalam bagan pada gambar berikut:



Perbaikan citra dengan operasi aritmetika/logika

- Dilakukan *pixel per pixel* antara dua atau lebih citra.

Operasi logika:

- AND
- OR
- NOT

Operasi aritmetika:

- Pengurangan

$$d(x, y) = f(x, y) - g(x, y)$$

- Penjumlahan (rata-rata)

$$s(x, y) = f(x, y) + g(x, y)$$

- Perkalian

$$p(x, y) = f(x, y) \times g(x, y)$$

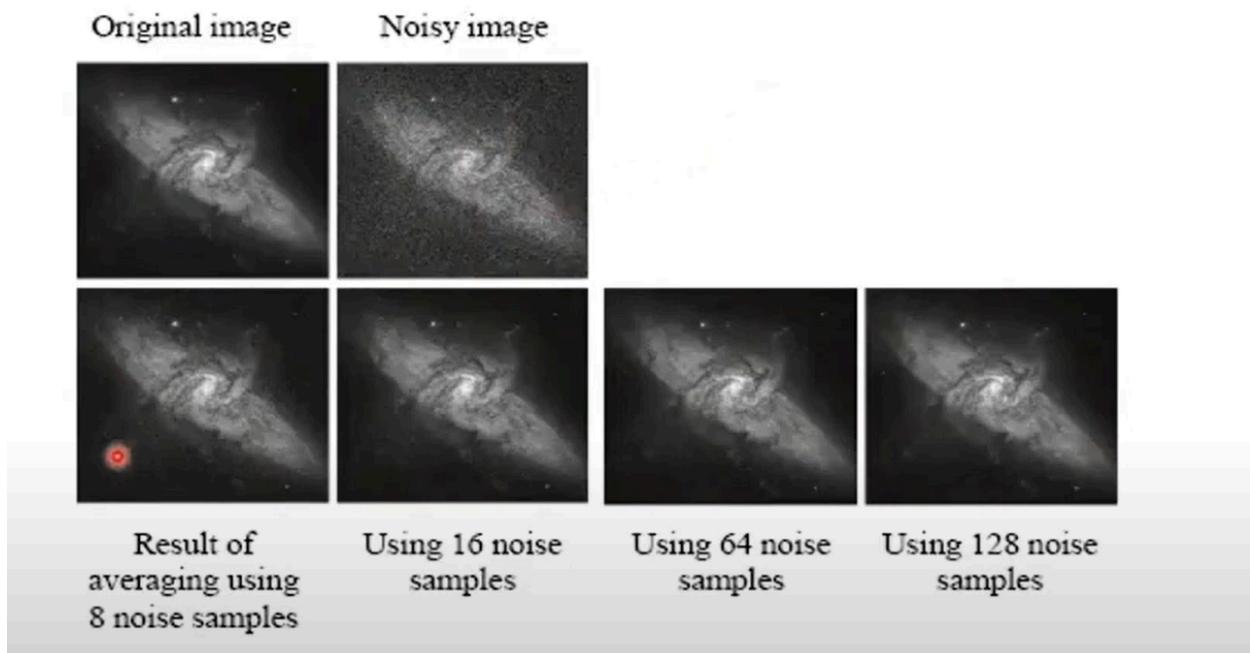
- Pembagian

$$v(x, y) = f(x, y) \div g(x, y)$$

3. Operasi penjumlahan (rata-rata)

Contoh dalam astronomi:

- Dalam astronomi, pencitraan di bawah tingkat cahaya yang sangat rendah sering menyebabkan gangguan sensor untuk menghasilkan gambar yang hampir tidak berguna untuk analisis.
- Dalam pengamatan astronomi, untuk mengurangi derau akibat sensor yang serupa, maka gambar pemandangan yang sama diambil berkali-kali. Rata-rata gambar kemudian digunakan untuk mengurangi derau.



A noisy image can be represented by

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y),$$

where $\eta(x, y)$ denotes the noise in the image

Since the noise is random and the content $f(x, y)$ is fixed,

The noise can be removed by taking more noisy images of the same object and averaging them out

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K g_i(x, y),$$

Berikut adalah poin-poin penting dari resume video bagian dua di atas :

https://youtu.be/Lnew1c1_504?si=zUBGm160GYPvslGW

Topik	Penjelasan / Subtopik
1. Transformasi Intensitas Tambahan	<ul style="list-style-type: none">- Power-law (gamma) transform: formula ($s = c \cdot r^{\gamma}$). Memungkinkan pengaturan terang/gelap citra dengan $\gamma < 1$ (mencerahkan) atau > 1 (menggelapkan).- Logarithmic transform: ($s = c \cdot \log(1 + r)$). Digunakan untuk memperluas nilai intensitas pada area gelap.- Inverse log dan transformasi eksponensial juga mungkin disinggung sebagai variasi.
2. Teknik Kontras & Perluasan Dinamis (Contrast Stretching / Contrast Scaling)	<ul style="list-style-type: none">- Linear contrast stretch: memetakan intensitas input ke rentang baru (misalnya 0–255) supaya jangkauan penuh digunakan.- Contrast stretching berdasarkan minimum dan maksimum input (r_{\min}, r_{\max})- Teknik “piecewise linear” (pivot points) untuk kontras adaptif di segmen tertentu.
3. Histogram Processing Lanjutan	<ul style="list-style-type: none">- Histogram equalization (penyeimbangan histogram): mendistribusikan ulang intensitas sehingga histogram menjadi lebih “merata”.- Spesifikasi histogram (histogram matching): memaksa histogram citra agar menyerupai histogram target tertentu.- Local / adaptive histogram equalization: membagi citra menjadi blok lokal dan menerapkan equalization lokal agar kontras lokal lebih baik (misalnya AHE, CLAHE).
4. Filtering & Peningkatan Ketajaman (Sharpening) — Fokus pada High-Frequency	<ul style="list-style-type: none">- Operator derivatif (misalnya gradien, sobel) sebagai metode untuk mendeteksi perubahan intensitas tajam- Operator Laplacian: filter keduanya (2nd derivative) untuk menonjolkan detail- High-pass filtering: melewatkkan frekuensi tinggi (tepi, detail) dan menekan frekuensi rendah (komponen lambat)- Unsharp masking: membuat citra tajam dengan mengurangkan versi blur dari citra asli dan menggabungkan kembali- Kombinasi dengan penguatan faktor (gain) agar efek tajam tidak “berlebihan”

5. Metode Adaptif / Konteks Lokal	<ul style="list-style-type: none"> - Kontras atau penajaman adaptif berdasarkan karakteristik lokal (misalnya berdasarkan variansi lokal, gradien) - Pengaturan parameter filter lokal agar sesuai daerah terang / gelap - Penggunaan jendela lokal (sliding window) untuk memproses setiap wilayah citra secara independen
6. Efek & Artefak / Keterbatasan	<ul style="list-style-type: none"> - Over-enhancement / clipping: bila nilai intensitas terlalu ditekan ke ujung (0 atau maksimum) - Noise ikut diperkuat (terutama pada metode tajam) - Transisi abrupt antar blok lokal (jika menggunakan block processing) - Kebutuhan penyeimbang antara efek visual dan keandalan numerik
7. Contoh Praktis & Demo	<ul style="list-style-type: none"> - Menampilkan citra asli dan hasil transformasi (misalnya gamma correction, contrast stretch) - Perbandingan hasil dari metode berbeda - Visualisasi histogram sebelum dan sesudah - Implementasi dalam bahasa pemrograman (misalnya MATLAB / Python) agar mahasiswa melihat efek parameter - Diskusi parameter terbaik (nilai gamma, ukuran kernel, batas adaptasi)
8. Aplikasi & Hubungan dengan Penyempurnaan Citra Lainnya	<ul style="list-style-type: none"> - Hubungan antara enhancement dan tahap pengolahan citra lanjutan (segmentasi, ekstraksi fitur) - Aplikasi di citra medis, penginderaan jauh, citra satelit, dsb - Pentingnya memilih metode yang sesuai konteks citra (noise, kontras awal, tujuan).