

# Restorasi Image dengan metode Wiener dan Lucy-Richardson

Muhammad Kusban  
Teknik Elektro - Universitas Muhammadiyah Surakarta

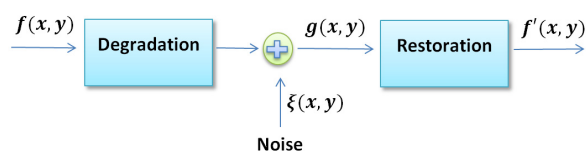
## Abstrak

Setiap image yang dihasilkan oleh optik, electro optical, dan perangkat elektronik lain memiliki kemungkinan besar akan rusak/terdegradasi yang disebabkan oleh gerakan perangkat dan pengindraan lingkungan. Restorasi image (image restoration) berkaitan erat dengan proses pemfilteran guna meminimalkan efek degradasi. Algoritma Wiener dapat digunakan untuk mendapatkan output image yang terdegradasi karena adanya gerakan kamera serta adanya noise lingkungan yang dapat diprediksi kisaran nilainya. Adapun algoritma Lucy-Richardson dapat digunakan untuk restorasi image yang tidak diketahui penyebab adanya degradasi tersebut.

Kata kunci: Filter Wiener, Lucy-Richardson, image restoration.

## Pendahuluan

Tujuan dari restorasi image adalah kembali mendapatkan sebuah image yang telah tergradasi atau terdistorsi ke kualitas dan bentuk aslinya. Berbeda dengan *enhancement*, dimana untuk restorasi menganggap model image terdistorsi telah diketahui permasalahannya atau dapat diprediksi penyebab kesalahannya[1]. Sedangkan P. Blomgren and T. F. Chan [2] lebih lanjut berpendapat bahwa restorasi image didasarkan atas usaha-usaha guna menaikkan kualitas image melalui pemahaman 'proses' yang menstransformasikan distribusi input menuju distribusi output.



Gambar 1. Blok diagram proses restorasi image

Dengan:

- ✓ f adalah image asal
- ✓ g adalah image yang tergradasi/kena noise
- ✓ f' adalah image akhir yang telah direstorasi

Terdegradasi merupakan model fungsi dengan tambahan suatu noise di dalamnya yang menghasilkan image  $g(x, y)$ . Bila blok *degradation* dalam gambar 1 dapat dimisalkan dengan suatu nilai linier H, maka image yang terdegradasi dinyatakan dengan bentuk berikut.

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + N(x, y)$$

dengan symbol \* yang menyatakan konvolusi spatial. Tujuan dari restorasi adalah mendapatkan kembali prakiraan  $f'(x, y)$  dari image asli (awal) dengan adanya beberapa konstanta yang dimiliki seperti:  $g(x, y)$ , fungsi degradasi H, dan fungsi noise  $N(x, y)$ .

Restorasi image akan berusaha menghilangkan beberapa degradasi. Bila degradasi tersebut linear dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

$$G(u, v) = H(u, v)xF(u, v) + N(u, v)$$

Dengan:

- ✓ F merupakan image asal
- ✓ H image terdegradasi
- ✓ N noise
- ✓ G adalah image akhir.

Degradasi dapat terjadi karena berbagai sebab yang berakibat image tersebut menjadi *blur*, diantaranya: menjadi *blur* karena kamera yang bergerak, *blur* karena lingkungan atau *long exposure*, dan *blur* karena kamera tidak fokus. Beberapa model image yang tergradasi antara lain:

- ✓ Blur karena gerakan kamera atau subyek yang bergerak.

$$h(i, j) = \begin{cases} 1 & ai + bj = 0 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

- ✓ Blur karena factor cuaca

$$h(i, j) = Ke^{-\left[\frac{i^2+j^2}{2\sigma}\right]}$$

- ✓ Blur uniform 2D

$$h(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{L^2} & -\frac{L}{2} \leq i, j \leq \frac{L}{2} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

- ✓ Blur untuk yang tidak focus.

$$h(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2} & i^2 + j^2 \leq R^2 \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

## Model noise

Sumber noise pada dasarnya muncul saat proses *acquisition* (pendigitalan) dan saat transmisi yang dipengaruhi oleh banyak factor[3].

Noise dalam sistim image biasanya bersifat aditif (*additive*) atau perkalian (*multiplicative*)[4]. Untuk yang bersifat aditif, merupakan noise dengan *zero-mean* dan *white noise*, noise yang kwadran penempatannya tidak berkorelasi satu sama lain serta bersifat independen. Beberapa contoh noise aditif:

- ✓ Noise Gaussian, yaitu noise statistic yang memiliki fungsi probabilitas kepadatan (*probability density function or PDF*) setara dengan distribusi normal yang juga dikenal dengan distribusi Gaussian. Bentuk umum dari distribusi Gaussian adalah noise Gaussian putih (*white Gaussian*) dengan nilai setiap pasangannya secara statistik independen dan tidak berkorelasi.

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- ✓ Noise Rayleigh, yaitu noise yang memancar secara terus menerus (kontinyu) dengan magnitude vektornya berkorelasi dengan arahnya. Besar noise Rayleigh dinyatakan dalam persamaan.

$$p(z) = \begin{cases} \frac{2}{b}(z-a)e^{-(z-a)^2/b}, & \text{untuk } z \geq 0 \\ 0, & \text{untuk } z < 0 \end{cases}$$

- ✓ Noise Gamma atau noise Erlang, yaitu noise acak pseudo random, yang merupakan waktu tunggu terhadap order nilai proses Poisson, untuk nilai stokastik suatu kejadian.

$$p(z) = \begin{cases} \frac{a^b z^{b-1}}{(b-1)!} e^{-(z-a)^2/b}, & \text{untuk } z \geq 0 \\ 0, & \text{untuk } z < 0 \end{cases}$$

- ✓ Noise eksponensial yaitu noise yang senantiasa bernilai eksponensial dalam kecepatannya seiring dengan kondisi yang masih dipenuhinya

$$p(z) = \begin{cases} ae^{-az}, & \text{untuk } z \geq 0 \\ 0, & \text{untuk } z < 0 \end{cases}$$

- ✓ Noise uniform atau *quantization noise* adalah noise yang disebabkan nilai pendekatan dalam rentang nilai tertentu.

$$p(z) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & \text{untuk } a \leq z \leq b \\ 0, & \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

- ✓ Noise Salt-Pepper dikenal juga dengan noise *impulsive* atau noise spike yaitu nilai sesaat yang diluar kewajaran.

$$p(z) = \begin{cases} P_a, & \text{untuk } z = a \\ P_b, & \text{untuk } z = b \\ 0, & \text{untuk yang lainnya} \end{cases}$$

## Filter noise periodik

Untuk mereduksi noise dapat dilakukan dengan menggunakan filter. Untuk sistim image linier, hubungan antara input  $f(x', y')$  dan output  $g(x, y)$  direpresentasikan dalam bentuk integral superposisi. Bentuk dalam *linier shift invariant* (LSI), mengurangi bentuk konvolusinya.

$$g(x, y) = \iint f(x', y')h(x-x', y-y')dx'dy' + n(x, y)$$

$$g(x, y) = f(x, y) ** h(x, y) + n(x, y)$$

Dengan notasi \*\* menyatakan 2D konvolusi. Dalam persamaan tersebut, kuantitas  $h(x-x', y-y')$  merupakan *point spread function* (PSF) atau respon impuls. Sedangkan kuantitas  $n(x, y)$  adalah noise additive. Kedua kuantitas tersebut erat berkaitan dengan bentuk yang tidak sempurna suatu image yang dihasilkan. Proses restorasi dapat dilakukan dengan jalan mengestimasi nilai input  $f(x', y')$ , output  $g(x, y)$  terukur, pemahaman akan taksiran nilai PSF  $h(x-x', y-y')$ , serta noise  $n(x, y)$  yang dikenal dengan proses dekonvolusi.

Dalam prakteknya meskipun PSF dan noise tidak dapat dihitung secara tepat, nilai pendekatan dapat dilakukan dengan mengambil nilai PSF atas nilai error tertentu akibat adanya perangkat hardware

(seperti anger camera). Sedangkan nilai pendekatan noise diambil dari nilai stochastic alam dengan nilai fluktuasi random.

Restorasi dengan inverse filter Fourier  
Dengan nilai PSF dan noise sebagai model pendistribusi citra, nilai inversi filter Fourier dapat dinyatakan dengan bentuk sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\hat{F}(k_x, k_y) &= Y(k_x, k_y)G(k_x, k_y) \\ &= \frac{G(k_x, k_y)}{H(k_x, k_y)} + \frac{N(k_x, k_y)}{H(k_x, k_y)} \\ &= F(k_x, k_y) + \frac{G(k_x, k_y)}{H(k_x, k_y)}\end{aligned}$$

Filter Wiener – Helstrom

Dalam kondisi noise  $N(k_x, k_y)$  memiliki tiga kriteria terhadap komponen image  $G(k_x, k_y)$  yaitu: jauh lebih kecil, atau jauh lebih besar, atau sebanding, maka pendekatan yang optimal dengan menggunakan filter Wiener – Helstrom (atau sering pula hanya disebut Wiener saja) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}Y(k_x, k_y) &= \frac{H * (k_x, k_y)W_F(k_x, k_y)}{|H(k_x, k_y)|^2 W_F(k_x, k_y) + W_N(k_x, k_y)} \\ &= \frac{H * (k_x, k_y)W_F(k_x, k_y)}{|H(k_x, k_y)|^2 + NSR(k_x, k_y)}\end{aligned}$$

Dengan kuantitas

$$NSR(k_x, k_y) = \frac{W_N(k_x, k_y)}{W_F(k_x, k_y)}$$

Untuk mereduksi noise periodic dengan menggunakan *frequency domain filtering* yang meliputi:

1. Filter Band reject

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{bila } D(u, v) < D_0 - \frac{W}{2} \\ 0, & \text{bila } D_0 - \frac{W}{2} \leq D(u, v) \leq D_0 + \frac{W}{2} \\ 1, & \text{bila } D(u, v) > D_0 + \frac{W}{2} \end{cases}$$

Keterangan:

- ✓  $D(u, v)$  adalah jarak dari titik tengah dalam frekuensi kotak.
- ✓  $W$  adalah bandwidth
- ✓  $D_0$  adalah pusat radial

2. Filter butterwort orde ke n

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{D(u, v)W}{D^2(u, v) - D_0^2} \right]^{2n}}$$

3. filter Gaussian

$$H(u, v) = 1 - e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{D^2(u, v) - D_0^2}{D(u, v)W} \right]^2}$$

## Final output

Beberapa proses diperlakukan guna mencapai restorasi image yang merupakan *final output*. Hal mendasar guna mendapatkan hasil akhir, berkaitan erat dengan pertanyaan “Bagaimana untuk mendapatkan  $F'(u, v)$  dari image terdegradasi  $G(u, v)$ ?”. Beberapa metode yang digunakan antara lain:

1. Inverse Filter

$$F'(u, v) = \frac{g(u, v)}{H(u, v)} = F(u, v) + \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$$

Dengan ketentuan harus mengetahui  $N(u, v)$ .

2. Filter Wiener (*minimum mean square error*)

$$e^2 = E\{(f - f')^2\} \rightarrow 0$$

$$F'(u, v) = \left[ \frac{1}{H(u, v)} \times \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + \frac{S_\eta(u, v)}{S_f(u, v)}} \right] G(u, v)$$

Dengan:

- ✓  $S_\eta(u, v) = |N(u, v)|^2$  adalah noise power spectrum
- ✓  $S_f(u, v) = |F(u, v)|^2$  adalah power spectrum dari image yang belum tergradasi. Bila  $S_f(u, v)$  belum diketahui, maka:

$$e^2 = E\{(f - f')^2\} \rightarrow 0$$

$$F'(u, v) = \left[ \frac{1}{H(u, v)} \times \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + K} \right] G(u, v)$$

3. Filter Constrained Least Square

$$F'(u, v) = \left[ \frac{H * (u, v)}{|H(u, v)|^2 + \gamma |P(u, v)|^2} \right] G(u, v)$$

$$p(x, y) = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix}$$

4. Filter dalam kawasan frekuensi.

Yaitu menransformasikan data image ke dalam kawasan frekuensi melalui metode Fourier Transform, selanjutnya mengalikan spectrum image tersebut dengan sejumlah *mask filtering* dan kemudian dikembalikan dengan cara retransformasi ke dalam spectrum asal dengan dekonvolusi di kawasan waktu.

5. Lucy-Richardson. Merupakan metode menghilangkan noise dengan memanfaatkan distribusi Poisson secara iterative yaitu untuk nilai ke  $(n + 1)$  dari image yang dihasilkan didapatkan dari prakiraan nilai di  $n$  yang dikalikan dengan sebuah image koreksi yaitu,

Bila noise tidak diketahui, maka restorasi image menjadi suatu coba-coba (*trial and error*) dalam

menghilangkan noise tersebut. Maka penggunaan suatu filter menjadikan suatu alternative dalam restorasi. Adapun macamnya antara lain:

- ✓ Mean filter, yaitu filter yang bersifat sederhana dengan mendapatkan nilai rata-rata suatu fungsi guna mengurangi degradasi image akibat adanya noise. Macamnya antara lain.
  - ❖ arithmetic mean filter
  - ❖ geometric mean filter
  - ❖ harmonic mean filter
  - ❖ contraharmonic mean filter
- ✓ Order-Statistics Filters, yaitu filter spasial yang berkaitan dengan perangkian (order) pixel dalam image yang akan dikenai filter. Adapun macamnya antara lain.
  - ❖ median filter
  - ❖ max dan min filter
  - ❖ midpoint filter
  - ❖ alpha-grimmed mean filter
- ✓ Adaptive filters, yaitu pola nilai noise yang berubah di dasarkan atas karakteristik statistika image.

### Local Operation

Untuk sebuah keluaran image baru, seringkali diperoleh dengan cara menempatkan image asal yang telah dirubah atau diproses dengan pixel tetangganya (*local operation*). Proses ini dapat digunakan untuk mendapatkan output image yang berbentuk:

- ✓ Image yang halus (*smoothing image*)
- ✓ Menghilangkan noise (*noise cleaning*)
- ✓ *edge enhancement*
- ✓ Deteksi pinggi (*boundary detection*)
- ✓ Penilaian tekstur (*assessment of texture*)

Operasi local yang dapat digunakan sebagai awal penggunaan konvolusi adalah berupa *image averaging*, yaitu konvolusi dengan nilai rata-rata blok operasi local atau juga sering digunakan sebagai bentuk filter lowpass.

0	1	0
1	0	1
0	1	0

$$h(x, y)$$

Gambar 2. Bentuk operasi local averaging.

*local operation* yang juga disebut *mask* seringkali berupa blok 9 elemen dengan bentuk 3x3. Operasinya dengan cara untuk satu pixel output

didapatkan dengan cara 9 kali perkalian dan 9 kali penjumlahan. Sehingga untuk *mask* dengan elemen yang lebih besar, membutuhkan hardware lebih baik pula.

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

Gambar 3. Operasi lokal sobel

-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

Gambar 4. Operasi lokal High Pass

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

Gambar 5. Operasi lokal Laplacian

### Wiener

Metode mendapatkan hasil restorasi image yang optimum dapat ditempuh dengan cara filter wiener, yaitu dengan melihat kenyataan bahwa setiap filter wiener telah lebih dahulu memiliki pemahaman nilai *power spectral density* yaitu suatu image dengan taksiran noise dan gangguan lain belum terdata sehingga perlu adalah menaksir nilai *power spectral density*-nya. Cara menaksirnya dapat ditempuh dengan menggunakan algoritma iterasi, yaitu image terdegradasi digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan nilai restorasinya. Nilai yang didapatkan

dalam restorasi image digunakan lagi sebagai nilai acuan baru untuk restorasi image yang baru lagi, sehingga proses demikian terus berlangsung secara iterative hingga tercapai nilai konvergen. Untuk mendapatkan prosedur Iterative dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- ✓ Mendapatkan degradasi image  $g$  dengan model image terdegradasi  $h$  serta noise *white Gaussian*, dan menggunakan nilai  $g$  tersebut sebagai acuan atas image asli  $f$ .
- ✓ Mengurangkan nilai rerata dari  $g$ , gunakan transformasi discrete fourier guna mendapatkan nilai estimasi image asli.
- ✓ Perkiraan *power spectral density* dengan metode periodogram.
- ✓ Menggunakan filter wiener guna mendapatkan image yang telah terestorasi serta menghitung nilai *mean square error*.
- ✓ Bila *mean square error* belum konvergen, ambil image terestorasi sebagai penaksir baru untuk iterasi berikutnya.
- ✓ Bila *mean square error* konvergen, gunakan pembalikan transformasi fourier dan tambahkan rerata ke dalam image yang terestorasi.

### Constrained Deconvolution

Bila filter Wiener digunakan untuk meminimalkan jumlah *error mean-square*, tetapi dalam banyak hal fungsi Wiener tidak dapat mencakup untuk restorasi image seperti *smoothness* dan *sharpness*. Untuk itu digunakan metode lain yaitu *constrained deconvolution* yang membatasi dekonvolusi *least square* daerah terbatas dengan persamaan sebagai berikut.

$$\hat{F}(k_x, k_y) = Y(k_x, k_y)G(k_x, k_y)$$

dengan

$$Y(k_x, k_y) = \frac{H * (k_x, k_y)}{|H(k_x, k_y)|^2 + \alpha |L(k_x, k_y)|^2}$$

- ✓  $Y(k_x, k_y)$  mengalikan output spectrum frekuensi untuk menghasilkan estimasi spectrum input.
- ✓  $(k_x, k_y)$  menyatakan titik OTF (*optical transfer function*) yang merupakan inversi filter.  $L(k_x, k_y)$  representasi operator linier dalam domain frekuensi.
- ✓ Dan  $\alpha = 1/\lambda$  yang merupakan inversi pengali Lagrange yang mengatur parameter *least square constraint*.

### Blind deconvolution

Untuk deconvolution standard dinyatakan sebagai berikut.

$$G(k_x, k_y) = F(k_x, k_y)H(k_x, k_y) + N(k_x, k_y)$$

Dalam persamaan ini, dicari estimasi nilai input spectrum  $F(k_x, k_y)$ . Proses selanjutnya mencari nilai spectrum noise  $N(k_x, k_y)$  serta nilai OTF  $H(k_x, k_y)$ . Nilai nilai estimasi sekilas tidak dapat diuraikan, untuk itu proses pemecahan dari semua parameter yang tidak diketahui dikenal dengan proses *blind deconvolution*. Pemecahannya adalah dengan menggunakan proses iterasi untuk mencapai nilai tertentu, bernilai dalam daerah tertentu, dan nol di luar daerah tersebut, serta bernilai positif.

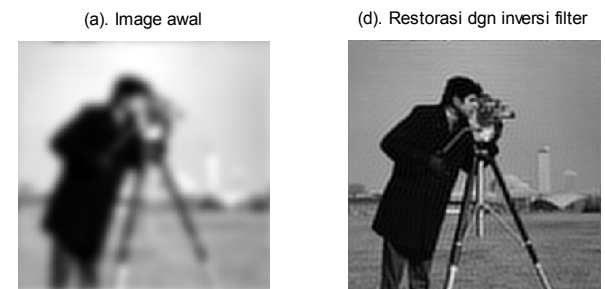
### Lucy-Richardson

Image restorasi merupakan lahan penelitian yang terus berkembang. Algoritma Lucy-richardson (LR) digunakan untuk restorasi dengan cara iterasi. Persamaan LR dinyatakan sebagai berikut.

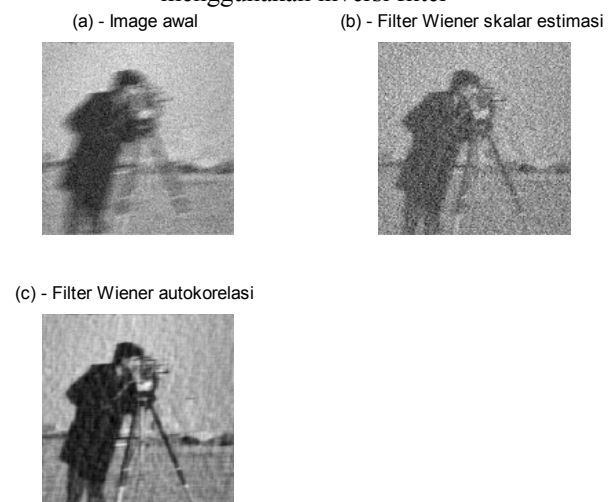
$$f_{k+1}(x, y) = f_k(x, y) + w(x, y)[g(x, y) - f_k(x, y) ** h(x, y)]$$

### Hasil Uji Matlab

Beberapa uji coba dilakukan dengan menggunakan image 'cameraman.tif' dalam lingkup Matlab based guna mengetahui fitur beberapa bentuk restorasi image.

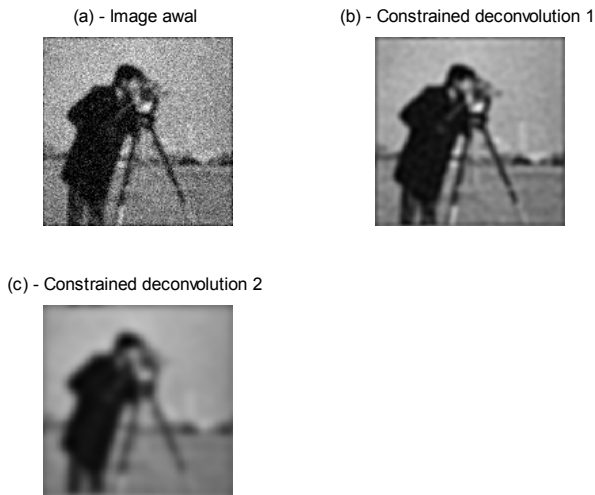


Gambar 6. Restorasi image blur *noiseless* dengan menggunakan inversi filter

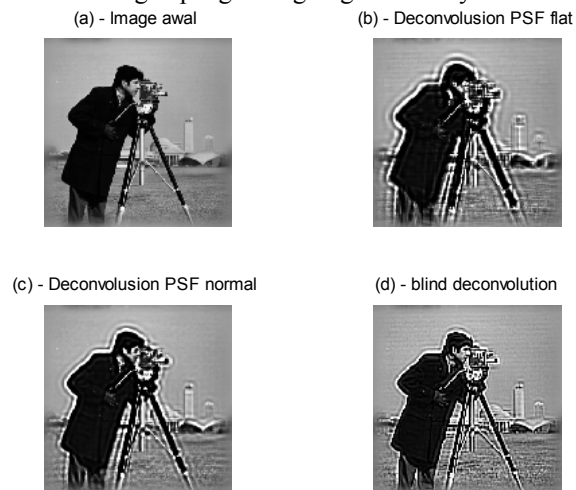


Gambar 7. Restorasi image yang asalnya blur serta noise melalui filter Wiener. (a) Image asli yang kena

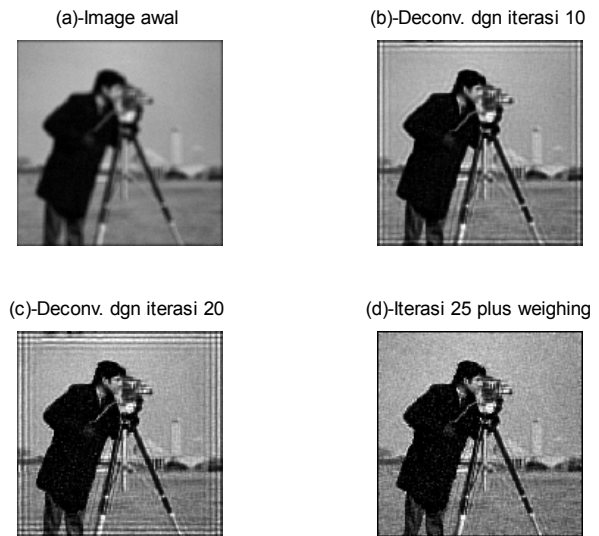
pengaruh noise Gaussian White. (b) Dengan filter Wiener scalar estimasi total power baik noise maupun sinyal. (c) Filter Wiener dengan proses *autocorrelation* baik noise maupun sinyalnya.



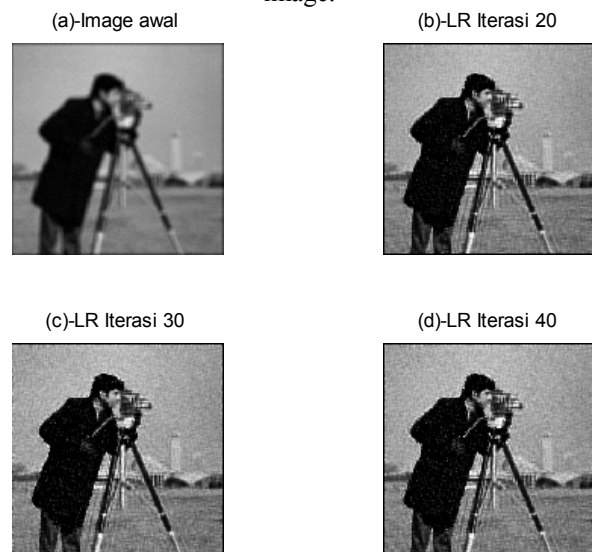
Gambar 8. Bentuk constrained deconvolution. (a) – Image asli dengan noise Gaussian. (b) – restorasi image dengan cara meminimalkan Laplacian image dengan meredam *least square noise*. (c) – Seperti (b) dengan pengali Lagrange 25 kalinya.



Gambar 9. Restorasi image dengan proses *blind deconvolution*. (a) – Image asal. (b) – deconvolusi nilai PSF flat. (c) – deconvolusi dengan PSF normal. (d) – blink deconvolution dengan PSF yang telah *recovery*.



Gambar 10. Restorasi dengan cara iterasi. (a) – Image asli yang kena pengaruh noise white Gaussian. (b) – Restorasi image dengan iterasi sejumlah 10 kali. (c) – Iterasi 20 kali. (d) – Iterasi 25 kali dengan tambahan fungsi *weighted* guna menghilangkan getar di pinggir image.



Gambar 11. Restorasi image dengan menggunakan algoritma Lucy-Richardson. (a) – Image awal yang merupakan image asli yang kena noise Gaussian. (b) – Hasil LR dengan iterasi 20 kali. (c) – Iterasi 30 kali (d) – Iterasi 40 kali.

## Referensi

1. M. Bertero, Image Deconvolution, Inverse Problems: Computational Methods and Emerging Applications, IPAM 2003. ([http://www.ipam.ucla.edu/publications/invws1/invws1\\_3804.pdf](http://www.ipam.ucla.edu/publications/invws1/invws1_3804.pdf))
2. P. Blomgren and T. F. Chan, Modular Solver for Constraint Image Restoration Problems Using the

- Discrepancy Principle, Numerical Linear Algebra with Applications, Vol 9, issue 5, pp 347-358.
3. David Donoho, De-Noising by Soft-Thresholding
  4. (<http://www-stat.stanford.edu/~donoho/reports.html>)
  5. H. W. Engl, Inverse Problems 1, Inverse Problems: Computational Methods and Emerging Applications Tutorials, IPAM 2003. ([http://www.ipam.ucla.edu/publications/invtut/invtut\\_hengl1.pdf](http://www.ipam.ucla.edu/publications/invtut/invtut_hengl1.pdf))
  6. R. Gonzalez and R. Woods, Digital Image Processing, second edition, Prentice Hall, Inc., 2002.
  7. K. Lee, J. Nagy and L. Perrone, Iterative Methods for Image Restoration: A Matlab Object Oriented Approach. Iterative Methods for Image Restoration, May 15, 2002.