

RESTORASI CITRA KABUR DENGAN ALGORITMA LUCY-RICHARDSON DAN PERBANDINGANNYA DENGAN PENAPIS WIENER

Rinaldi Munir

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

E-mail: rinaldi@informatika.org

ABSTRAKSI

Restorasi citra bertujuan merekonstruksi citra yang mengalami degradasi menjadi citra yang menyerupai citra aslinya. Restorasi citra dilakukan dengan melewatkan citra masukan pada penapis. Salah satu penapis yang bekerja dengan metode iteratif adalah algoritma Lucy-Richardson. Prinsip iteratif algoritma ini adalah estimasi ke-(n+1) dari citra restorasi adalah estimasi dari hasil iterasi ke-n dikali dengan sebuah citra koreksi. Iterasi dapat dilakukan sampai citra hasil restorasi yang diperoleh sudah memenuhi kriteria fidelitas. Makalah ini memaparkan restorasi citra dengan algoritma Lucy-Richardson. Eksperimen dengan algoritma ini dilakukan dengan menggunakan kakas MATLAB. Sebagai perbandingan dilakukan restorasi citra menggunakan penapis Wiener. Hasil-hasil eksperimen dianalisis untuk melihat perbandingan hasil kedua penapis ini.

Kata kunci: restorasi citra, degradasi, algoritma Lucy-Richardson, iteratif, MATLAB.

1. PENDAHULUAN

Restorasi citra adalah proses merekonstruksi atau mendapatkan kembali citra asli dari sebuah citra yang cacat/terdegradasi agar dapat menyerupai citra aslinya [1]. Restorasi citra berbeda dengan peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) meskipun keduanya sama-sama bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra. *Image enhancement* lebih banyak berhubungan dengan penajaman dari fitur tertentu dalam citra, sedangkan restorasi citra memanfaatkan pengetahuan tentang proses terjadinya degradasi untuk memperoleh kembali citra asal [2].

Degradasi yang banyak dibahas adalah pengaburan (*blurring*). Citra yang kabur dapat disebabkan oleh berbagai sebab, misalnya pergerakan selama pengambilan gambar oleh alat optik seperti kamera, penggunaan alat optik yang tidak fokus, penggunaan lensa dengan sudut yang lebar, gangguan atmosfer, pencahayaan yang singkat sehingga mengurangi jumlah foton yang ditangkap oleh alat optik, dan sebagainya [3].

Ada beberapa teknik yang digunakan untuk menghilangkan kekaburan citra (*deblurring*), misalnya penapisan dengan beberapa penapis konvensional seperti penapis Wiener dan penapis Butterwooth. Ada pula penapis lain merestorasi citra dengan menggunakan metode iteratif, yaitu algoritma Lucy-Richardson. Esensi dari iterasi adalah sebagai berikut: estimasi ke-(n+1) dari citra restorasi adalah estimasi dari hasil iterasi ke-n dikali dengan sebuah citra koreksi. Algoritma Lucy-Richardson pada awalnya digunakan di bidang astronomi untuk memperbaiki citra benda langit. Sekarang algoritma ini banyak digunakan untuk *deblurring* pada sembarang citra yang mengalami degradasi.

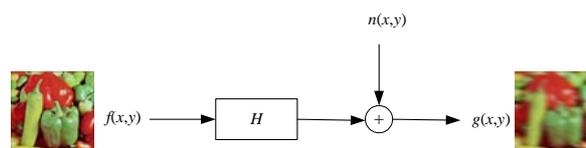
Makalah ini membahas algoritma Lucy-Richardson. Pembahasan dimulai dengan model degradasi, *point spread spectrum*, algoritma Lucy-Richardson, penapis Wiener (sebagai perbandingan)

dan hasil eksperimen penggunaan algoritma Lucy-Richardson untuk *deblurring* dengan menggunakan kakas MATLAB.

2. MODEL DEGRADASI

Citra yang tertangkap oleh alat-alat optik seperti mata, kamera, dan sebagainya sebenarnya merupakan citra yang sudah mengalami degradasi. Gambar 1 memperlihatkan model degradasi [4] yang dalam hal ini jika $f(x, y)$ adalah citra asli dan $g(x, y)$ adalah citra terdegradasi, maka $g(x, y)$ adalah perkalian $f(x, y)$ dengan operator distorsi H ditambah dengan derau aditif $n(x, y)$:

$$g(x, y) = Hf(x, y) + n(x, y) \quad (1)$$



Gambar 1. Model degradasi

Derau $n(x, y)$ adalah sinyal aditif yang timbul selama akuisisi citra sehingga menyebabkan citra menjadi rusak (mengalami degradasi). (Catatan: Citra $f(x, y)$ sebenarnya tidak ada; citra $f(x, y)$ adalah citra yang diperoleh dari akuisisi citra pada kondisi sempurna). Perhatikan bahwa model ini mengasumsikan bahwa degradasi invarian secara spasial sehingga dapat dipandang sebagai penapis linier (*linier*) dan sinyal aditif [5]. Secara ringkas, persamaan (1) dapat ditulis sebagai bentuk matriks-vektor $\mathbf{G} = \mathbf{H}\mathbf{f} + \mathbf{n}$.

Jika H adalah fungsi dwimatra, maka persamaan 1 dapat dipandang sebagai konvolusi fungsi ini dengan citra $f(x, y)$ menghasilkan distorsi. Dengan demikian, persamaan 1 dapat ditulis sebagai

$$g(x, y) = H(x, y) * f(x, y) + n(x, y) \quad (2)$$

yang dalam hal ini simbol * menyatakan konvolusi. Dalam domain frekuensi, model degradasi ini dapat ditulis sebagai:

$$G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v) \quad (3)$$

yang dalam hal ini $G(u, v)$, $H(u, v)$, $F(u, v)$, dan $N(u, v)$ masing-masing adalah transformasi *Fourier* dari $g(x, y)$, $H(x, y)$, $f(x, y)$, dan $n(x, y)$.

Contoh operator distorsi adalah *kernel* merata yang mengakibatkan cita menjadi kabur (*blur*), yaitu:

$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Kernel ini mengganti *pixel* yang dikonvolusi dengan nilai rata-rata dari 8 *pixel* tetangganya (plus *pixel* itu sendiri).

Persoalan restorasi citra adalah bagaimana mengaproksimasi $f(x, y)$ jika diberikan $g(x, y)$. Kita mengasumsikan bahwa pengetahuan degradasi diketahui dalam bentuk operator H dan karakteristik derau $n(x, y)$ diketahui (berdasarkan informasi statistik) atau dapat diestimasi. Karena persoalan ini dipandang sebagai persoalan aproksimasi, maka kita menentukan $\hat{f}(x, y)$ sebagai estimasi terhadap $f(x, y)$ sedemikian sehingga $\hat{f}(x, y) - f(x, y)$ minimal [2].

3. POINT SPREAD SPECTRUM (PSF)

Operator distorsi pada persamaan (2) disebut juga *point spread spectrum (PSF)*. *PSF* ini dapat dijelaskan secara sederhana dengan contoh citra bintang yang ditangkap oleh teleskop sebagai berikut [6]: jika segala sesuatu sempurna (misalnya optik teleskop yang sempurna, sudut penglihatan yang sempurna), maka citra bintang hanya berupa *pixel* tunggal seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a). Tetapi, nyatanya, karena segala ketidaksempurnaan, citra bintang yang diamati menyebar pada beberapa *pixel*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(b). Inilah yang dikenal dengan nama *point spread spectrum*.



Gambar 2. *Point Spread Spectrum* pada citra bintang yang ditangkap oleh teleskop. Penjelasan gambar: (a) Citra bintang seharusnya, (b) citra bintang yang diamati akibat distorsi oleh *PSF*. [6]

PSF merupakan faktor penting pada restorasi citra, karena *PSF* menggambarkan distorsi. Menurut persamaan (2), citra terdegradasi dapat kita tulis sebagai:

$$\text{Citra terdegradasi} = \text{citra asli} * \text{PSF} + \text{derau aditif}$$

Jadi, berdasarkan model degradasi pada persamaan (2), pekerjaan mendasar pada *deblurring* adalah dekonvolusi citra kabur (*blur*) dengan *PSF* [3]. (Catatan: **dekonvolusi** adalah proses yang membalikkan efek konvolusi). Dengan kata lain, kualitas citra hasil *deblurring* terutama ditentukan oleh pengetahuan *PSF*.

Untuk mengilustrasikan efek *PSF*, dilakukan eksperimen dengan menggunakan kaskas MATLAB. Sebuah citra yang bagus (citra kupu-kupu) dibuat menjadi kabur dengan cara mengkonvolusinya dengan *PSF*. *PSF* yang dibuat ada 2 buah, pertama *PSF motion blur* (kekaburan gambar akibat gerakan alat optik pada proses akuisisi). Kedua, *PSF gaussian*. Di dalam MATLAB, fungsi *fspecial* menghasilkan *PSF*. Fungsi *imfilter* mengkonvolusi *PSF* tersebut dengan citra semula, I , untuk menghasilkan citra kabur, *Blurred*. Kode *script* MATLAB adalah sebagai berikut:

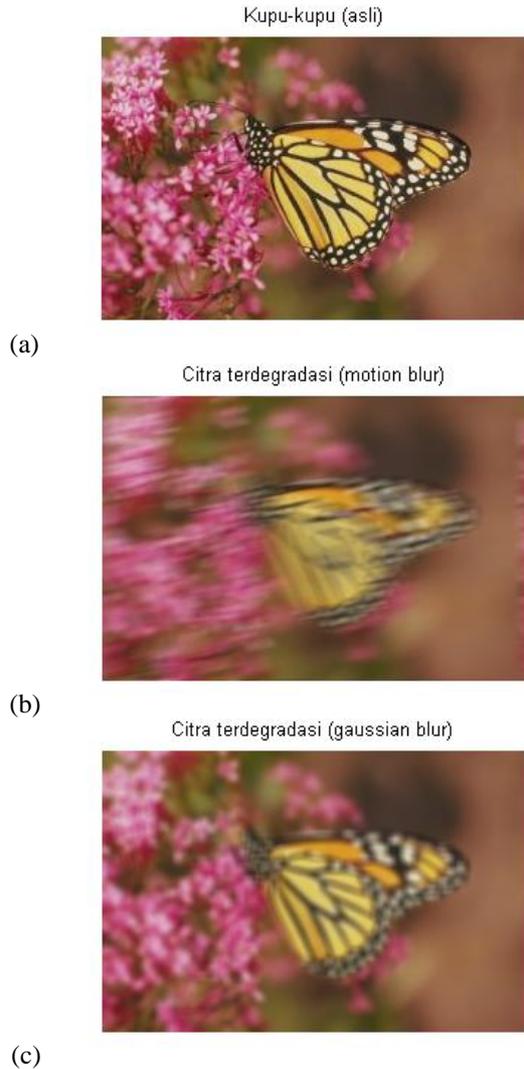
```
I = imread('kupu-kupu.jpg');
figure; imshow(I); title('Citra asli');
LEN = 20; % Panjang blur (satuan: pixel)
THETA = 9; % sudut blur (satuan: derajat)
PSF1 = fspecial('motion', LEN, THETA);
Blurred = imfilter(I, PSF, 'circular',
'conv'); % Pengaburan
figure; imshow(Blurred);
title('Citra terdegradasi (motion blur)');
PSF2 = fspecial('gaussian', 5, 5);
Blurred = imfilter(I, PSF, 'symmetric',
'conv'); % Pengaburan
figure; imshow(Blurred);
title('Citra terdegradasi (gaussian blur)');
```

Gambar 3(a) memperlihatkan citra kupu-kupu yang asli. Di sini terlihat objek kupu-kupu terlihat tajam dan fokus, dengan latar depan sebagian bunga dan latar belakang bunga yang lain. Gambar 3(b) memperlihatkan citra kupu-kupu yang telah terdegradasi dengan *PSF motion blur*. Pada gambar ini kupu-kupu dan bunga latar depan terlihat kabur sebagai akibat efek *motion* dengan *PSF*. Gambar 3(c) memperlihatkan citra kupu-kupu yang telah terdegradasi dengan *PSF gaussian blur*.

4. ALGORITMA LUCY-RICHARDSON

Orang mungkin beranggapan bahwa bila transformasi dari citra asli menjadi citra terdegradasi diketahui (yaitu *PSF*), maka dengan melakukan transformasi kebalikan (*invers*) akan mendapatkan kembali citra terestorasi yang sempurna. Tetapi hal ini tidak benar karena pengaruh distorsi pada citra akan memberi tekanan secara kuat pada transformasi *invers* [6].

Karena alasan inilah maka algoritma restorasi iteratif dikembangkan. Pada setiap iterasi, algoritma ini cenderung memperbaiki distorsi yang disebabkan oleh *PSF*. Iterasi dihentikan jika kompromi terbaik antara kualitas citra dengan derau telah dicapai [6].



Gambar 3. Distorsi yang disebabkan oleh *PSF* terhadap citra kupu-kupu. Keterangan gambar: (a) citra kupu-kupu semula, (b) Citra kupu-kupu terdegradasi dengan *PSF motion blur*, (c) Perbedaan antara cira semula dengan *PSF gaussian blur*.

Algoritma *Lucy-Richardson (L-R)*, yang dikenal juga dengan dekonvolusi *Lucy-Richardson*, dikembangkan secara independen oleh Richardson (1972) dan Lucy (1974). Algoritma ini efektif jika kita mengetahui *PSF* tetapi hanya mengetahui sedikit mengenai derau aditif pada citra. Algoritma ini pada mulanya digunakan untuk merestorasi citra astronomi, sebelum akhirnya digunakan juga secara luas untuk merestorasi sembarang citra yang mengalami kekaburan. Algoritma ini memaksimalkan kemungkinan (*maximum likelihood*) bahwa sebuah citra bila dikonvolusi dengan *PSF* hasilnya adalah instansiasi dari citra kabur, dengan mengasumsikan derau tersebut dengan distribusi *Poisson* [3]. Distribusi *Poisson* adalah

$$p(x) = \frac{e^{-a} a^x}{x!} \quad (4)$$

dengan x adalah peubah acak dan a adalah konstanta.

Esensi dari iterasi adalah sebagai berikut: estimasi ke- $(n + 1)$ dari citra restorasi adalah estimasi ke- n citra restorasi dikali dengan citra koreksi. Persamaan iterasinya adalah:

$$\hat{f}_{n+1} = \hat{f}_n \left(\frac{g}{\hat{f}_n * PSF} \right) * reflect(PSF) \quad (5)$$

yang dalam hal ini, operator $*$ menyatakan konvolusi, $\hat{f} = \hat{f}(x, y)$ menyatakan estimasi citra restorasi, $g = g(x, y)$ menyatakan citra masukan (yang mengalami degradasi), $reflect(PSF)$ menyatakan pencerminan *PSF*, yaitu $reflect(PSF(x, y)) = PSF(-x, -y)$, dan $\left(\frac{g}{\hat{f}_n * PSF} \right) * reflect(PSF)$ menyatakan citra koreksi.

Nilai awal iterasi adalah $\hat{f}_0 = g * PSF$.

Kekonvergenan algoritma *Lucy-Richardson* berarti citra koreksi mendekati satu (*unity*) ketika iterasi bertambah. Jika algoritma konvergen (yang telah dibuktikan oleh Shepp dan Vardi [8]) maka iterasinya itu konvergen ke maksimum kemungkinan statistik *Poisson* di dalam data [8].

Contoh dekonvolusi dengan algoritma *Lucy-Richardson* disimulasikan sebagai berikut ini. Misalkan cita *peppers* yang asli (256 x 256) dikaburkan dengan *PSF motion blur*. Kemudian, citra yang telah terdegradasi direstorasi dengan algoritma *Lucy-Richardson* dengan berbagai jumlah iterasi yang dispesifikasikan: 5, 10, 15, dan 20. Kode *MATLAB* untuk hal ini adalah:

```
% baca citra
I = imread('peppers.jpg');
figure; imshow(I);
title('Citra Lada asli');

% Kaburkan citra
LEN = 30; % Panjang blur (satuan: pixel)
TETHA = 10; % sudut blur (satuan: derajat)
PSF = fspecial('motion', LEN, TETHA);
Blurred = imfilter(I, PSF, 'circular',
    'conv');
figure; imshow(Blurred); title('Citra
terdegradasi (motion blur)');

% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 5
lucl = deconvlucy(Blurred, PSF, 5);
figure; imshow(lucl); title('Citra lada
terestorasi, jumlah iterasi = 5');

% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 10
lucl = deconvlucy(Blurred, PSF, 10);
figure; imshow(lucl); title('Citra lada
terestorasi, jumlah iterasi = 10');

% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 15
lucl = deconvlucy(Blurred, PSF, 15);
figure; imshow(lucl); title('Citra lada
terestorasi, jumlah iterasi = 15');

% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 20
lucl = deconvlucy(Blurred, PSF, 20);
figure; imshow(lucl); title('Citra lada
terestorasi, jumlah iterasi = 20');
```

Hasil restorasi citra *peppers* diperlihatkan pada Gambar 4 di halaman **Lampiran**. Pada iterasi yang ke-10, citra restorasi sudah memperlihatkan kualitas yang lebih baik. Tetapi, jumlah iterasi yang tinggi (seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dengan jumlah iterasi = 20) dapat memunculkan noda-noda baru yang tidak terdapat pada citra aslinya, noda ini disebut *artifact*. *Artifact* merupakan hasil penguatan derau (*noise amplification*) yang meningkat dengan bertambahnya iterasi. Ini adalah persoalan umum pada semua teknik *maximum-likelihood* (termasuk algoritma *Lucy-Richardson*), yang mencoba mencocokkan data sedekat mungkin dengan citra aslinya [8]. Cara yang praktis untuk membatasi penguatan derau adalah menghentikan iterasi bila citra restorasi muncul dengan derau yang terlalu banyak [8].

Artifact khususnya muncul pada objek mulus yang diamati pada nisbah *signal-to-noise* [2]. Tetapi, pada citra tertentu seperti citra bintang, iterasi dapat berlanjut sampai ratusan, bahkan ribuan kali tanpa menimbulkan *artifact* pada citra restorasi [7].

Pertanyaan yang sering muncul terhadap algoritma ini adalah kapan menghentikan iterasi, atau berapa banyak iterasi untuk memperoleh citra restorasi yang bagus. Ini adalah pertanyaan yang sulit dijawab. Jika jumlah iterasi sedikit, maka citra restorasi belum memberikan hasil yang bagus. Jika jumlah iterasi banyak, iterasi dapat menghasilkan *artifact*. Lagipula, jumlah iterasi berbeda-beda pada setiap citra. Citra yang mempunyai nisbah *signal-to-ratio* yang tinggi, seperti citra bintang, membutuhkan ratusan kali iterasi, sedangkan citra yang mempunyai objek mulus, dengan nisbah *signal-to-noise* yang rendah, seperti citra *peppers* di atas, hanya membutuhkan sedikit iterasi [8].

5. PENAPIS WIENER

Penapis *Wiener* adalah metode restorasi yang berdasarkan pada *least square*. Penapis ini meminimumkan galat restorasi, yaitu selisih antar citra restorasi dengan citra asli. Penapis ini efektif bila karakteristik frekuensi citra dan derau aditif diketahui [2]. Jika tidak ada derau aditif, penapis *Wiener* menjadi penapis yang ideal.

Dalam domain *transform*, penapis *Wiener* berbentuk

$$H_W(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + S_n(u, v) / S_f(u, v)} \quad (6)$$

yang dalam hal ini, $S_n(u, v)$ dan $S_f(u, v)$ berturut-turut menyatakan *power spectra* dari derau aditif dan citra masukan, sedangkan $H^*(u, v)$ menyatakan konjugasi dari operator *blurring*, H . Cara yang umum memperoleh *power spectra* adalah dengan menggunakan transformasi *Fourier* dan mengambil kuadrat dari magnitudo koefisien kompleksnya. Jika $S_n(u, v)$ dan $S_f(u, v)$ tidak diketahui atau tidak

dapat diestimasi, maka penapis *Wiener* dihipotesiskan dengan persamaan berikut:

$$H_W(u, v) = \frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + K} \quad (7)$$

yang dalam hal ini K menyatakan konstanta yang dispesifikasikan oleh pengguna [5]. Dengan menggunakan penapis *Wiener*, maka citra restorasi diperoleh dengan mengalikan penapis tersebut dengan citra masukan:

$$\hat{F}(u, v) = H_W(u, v).G(u, v) \quad (8)$$

Contoh restorasi dengan penapis *Wiener* disimulasikan sebagai berikut: Misalkan citra *peppers* yang asli (256 x 256) dikaburkan dengan *PSF motion blur*. Kemudian, citra yang telah terdegradasi direstorasi dengan penapis *Wiener*. Kode MATLAB untuk hal ini adalah:

```
I = imread('peppers.jpg'); % baca citra
figure; imshow(I); title('Citra Lada
asli');

% Kaburkan citra
LEN = 30; % Panjang blur (satuan: pixel)
TETHA = 10; % sudut blur (satuan: derajat)
PSF = fspecial('motion', LEN, TETHA);
Blurred = imfilter(I, PSF, 'circular',
'conv');
figure; imshow(Blurred); title('Citra
terdegradasi (motion blur)');

% Restorasi citra dengan penapis Wiener
wnr1 = deconvwnr(Blurred, PSF);
figure; imshow(wnr1);
title('Citra hasil restorasi');

% Hitung selisih antara citra asli dengan
citra hasil restorasi
figure; imshow(imabsdiff(I, Blurred));
title('Perbedaan citra asli dengan citra
restorasi');
```

Hasil restorasi citra *peppers* diperlihatkan pada Gambar 5 di halaman **Lampiran**. Di sini penapis *Wiener* bekerja sebagai penapis ideal, karena tidak ada derau aditif di dalam citra. Hasil restorasi tampak persis dengan aslinya. Perbedaan antara citra asli dengan citra hasil restorasi diperlihatkan hampir seluruhnya hitam.

6. PERBANDINGAN

Baik algoritma *Lucy-Richardson* maupun penapis *Wiener*, keduanya memberikan rekonstruksi citra terdegradasi yang memuaskan. Kedua metode restorasi ini hanya efektif jika kita mengetahui *PSF* yang menyebabkan distorsi citra. Namun, restorasi dengan algoritma *Lucy-Richardson* menghasilkan noda baru yang disebut *artifact* bila jumlah iterasi yang dispesifikasikan meningkat. *Artifact* tidak muncul pada penapisan dengan *Wiener*. Kesulitan lain pada algoritma *Lucy-Richardson* adalah sulitnya menentukan jumlah iterasi yang tepat.

7. PENUTUP

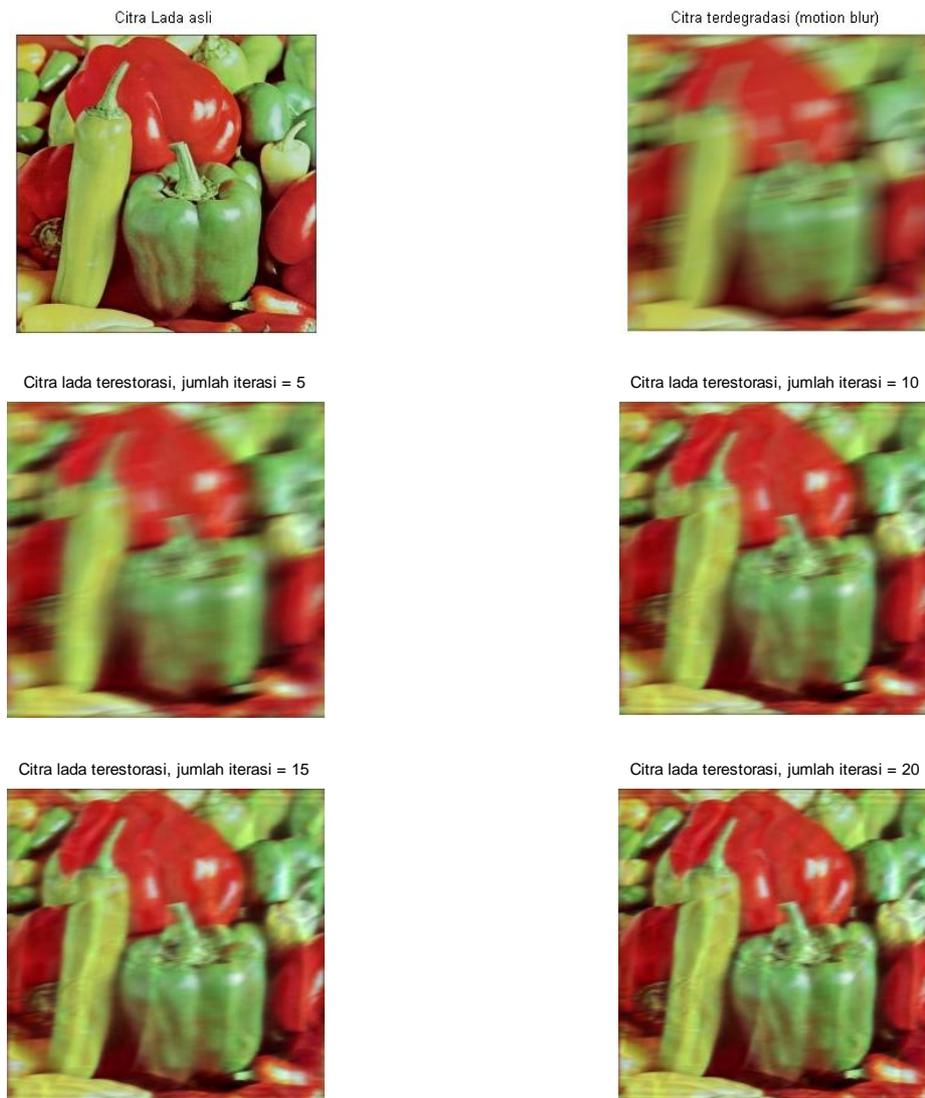
Algoritma *Lucy-Richadson* dan penapis *Wiener* adalah dua penapis dekonvolusi yang digunakan untuk merestorasi citra terdegradasi. Kedua penapis ini hanya efektif jika *PSF* yang menyebabkan distorsi diketahui. Masalah utama pada algoritma *Lucy-Richardson* adalah menentukan jumlah iterasi yang tepat untuk menghasilkan citra yang menyerupai citra aslinya.

REFERENSI

- [1] Tati L. Mengko, *Workshop on Image Processing and Pattern Recognition*, Januari 1988, PAU Bidang Mikroelektronika.
- [2] Andriyan Bayu Suksmono, *Bahan Kuliah EB7031 Penglahan Citra Bidomedik Lanjut*, Teknik Elektro ITB, 2006.

- [3] *Image Processing Toolbox User's Guide*, The Mathworks Inc.
- [4] Rafael C. Gonzalez et.al, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1977.
- [5] <http://documents.wolfram.com/applications/digitalimage/UsersGuide/ImageTransforms/ImageProcessing8.7.html>, *Image Restoration*, diakses tanggal 31 Maret 2006 pukul 14.00.
- [6] http://astrim.free.fr/image_restoration.htm, *Image Restoration*, diakses tanggal 1 April 2006 pukul 14.30.
- [7] <http://www.numis.northwestern.edu/FTP/Public/Restorations/lucy.html>, diakses tanggal 1 April 2006 pukul 15.00.
- [8] Richard L. White, *Image Restoration Using Damped Richardson-Lucy Method*, *ASP Conference Series*, Vol. 61, 1994.

LAMPIRAN



Gambar 4. Simulasi restorasi citra Lena dengan algoritma *Lucy-Richardson* dengan berbagai macam jumlah iterasi.

Citra Lada asli



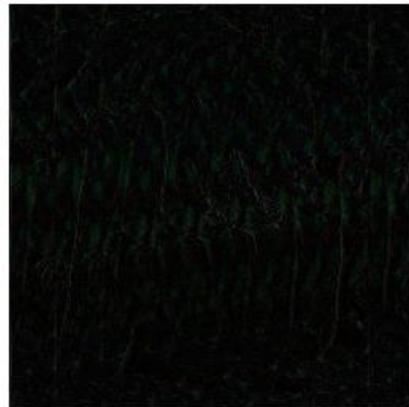
Citra terdegradasi (motion blur)



Citra hasil restorasi



Perbedaan citra asli dengan citra restorasi



Gambar 5. Simulasi restorasi citra Lena dengan penapis *Wiener*