

# 14 – Restorasi Citra (Bagian 2)

IF4073 Interpretasi dan Pengolahan Citra

Oleh: Rinaldi Munir



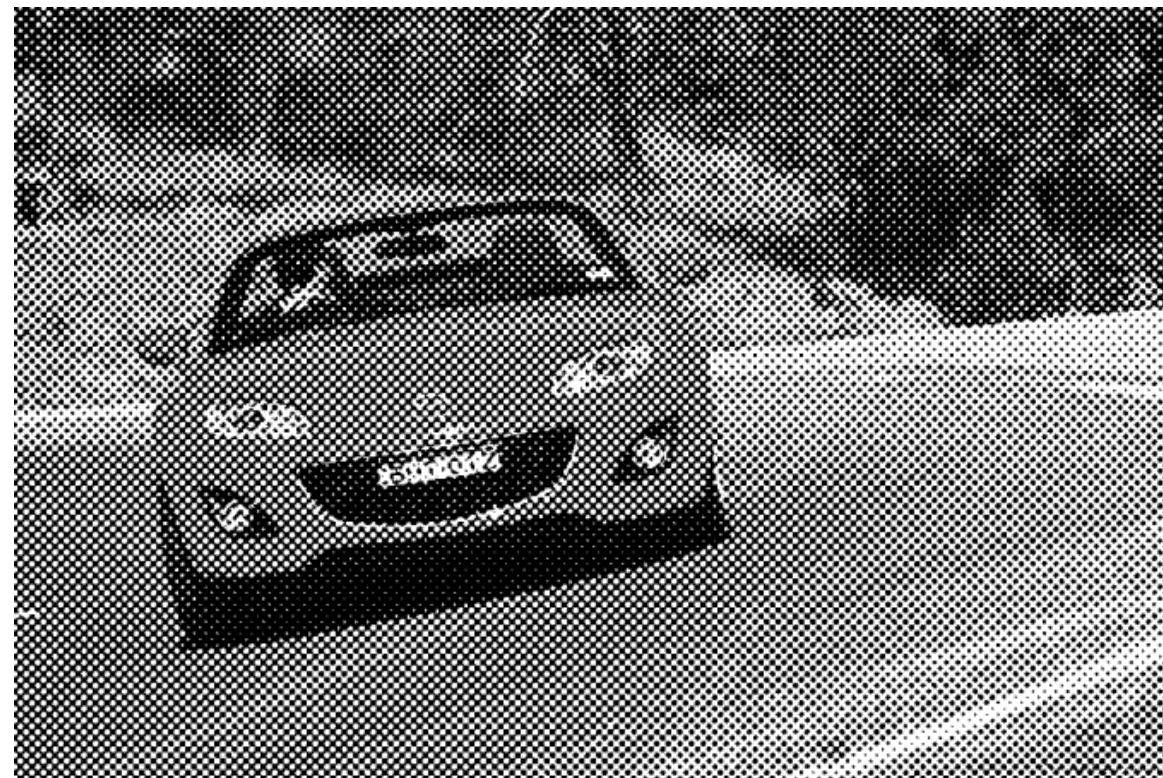
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung  
Update 2023

# Restorasi citra dalam ranah frekuensi

- Restorasi citra dalam ranah frekuensi digunakan untuk mengestimasi citra yang terdistorsi akibat:
  - derau periodik
  - motion blur

# Derau Periodik





## Citra dengan derau periodik lainnya



blurred image

# Derau Periodik

- Derau periodik dihasilkan dari interferensi elektrik atau elektomekanik selama proses akuisisi citra
- Derau periodik akan tampak seperti pola yang berulang di dalam citra.
- Derau periodik dapat dihamperi dengan gelombang sinusoida berbentuk:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x, y) = A \sin(u_0 x + v_0 y) \\ F(u, v) = -j \frac{A}{2} \left[ \delta\left(u - \frac{u_0}{2\pi}, v - \frac{v_0}{2\pi}\right) - \delta\left(u + \frac{u_0}{2\pi}, v + \frac{v_0}{2\pi}\right) \right] \end{array} \right.$$



- Program Matlab untuk menambahkan derau periodik ke dalam citra

```
f = imread('cameraman.bmp');  
s=size(f);  
[x,y]=meshgrid(1:s(1),1:s(2));  
p=1+sin(x+y/1.5);  
f_pn=(im2double(f)+p/2)/2;  
imshow(f_pn), title ('Noisy image');  
imwrite(f_pn, 'cameraman_noise2.bmp');
```

Noisy image



# Reduksi Derau Periodik

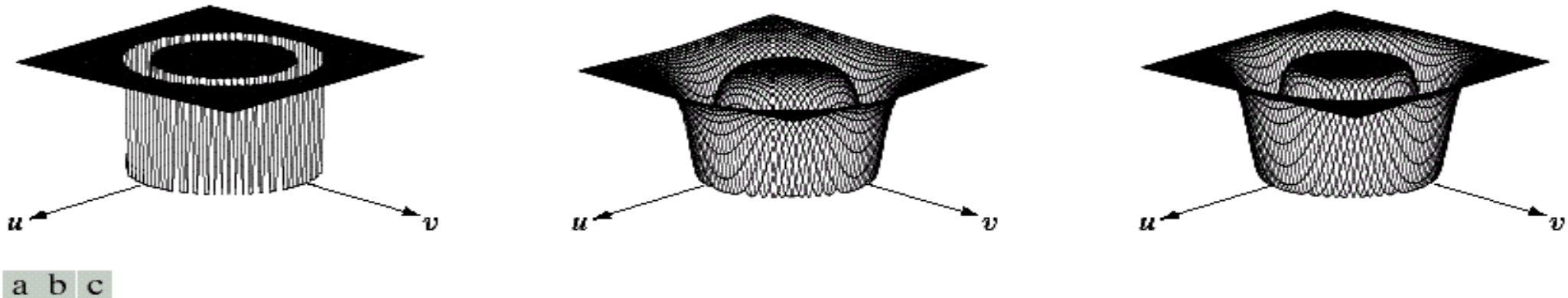
Menggunakan beberapa macam penapis:

- *Bandreject filters*
- *Bandpass filters*
- *Notch filters*

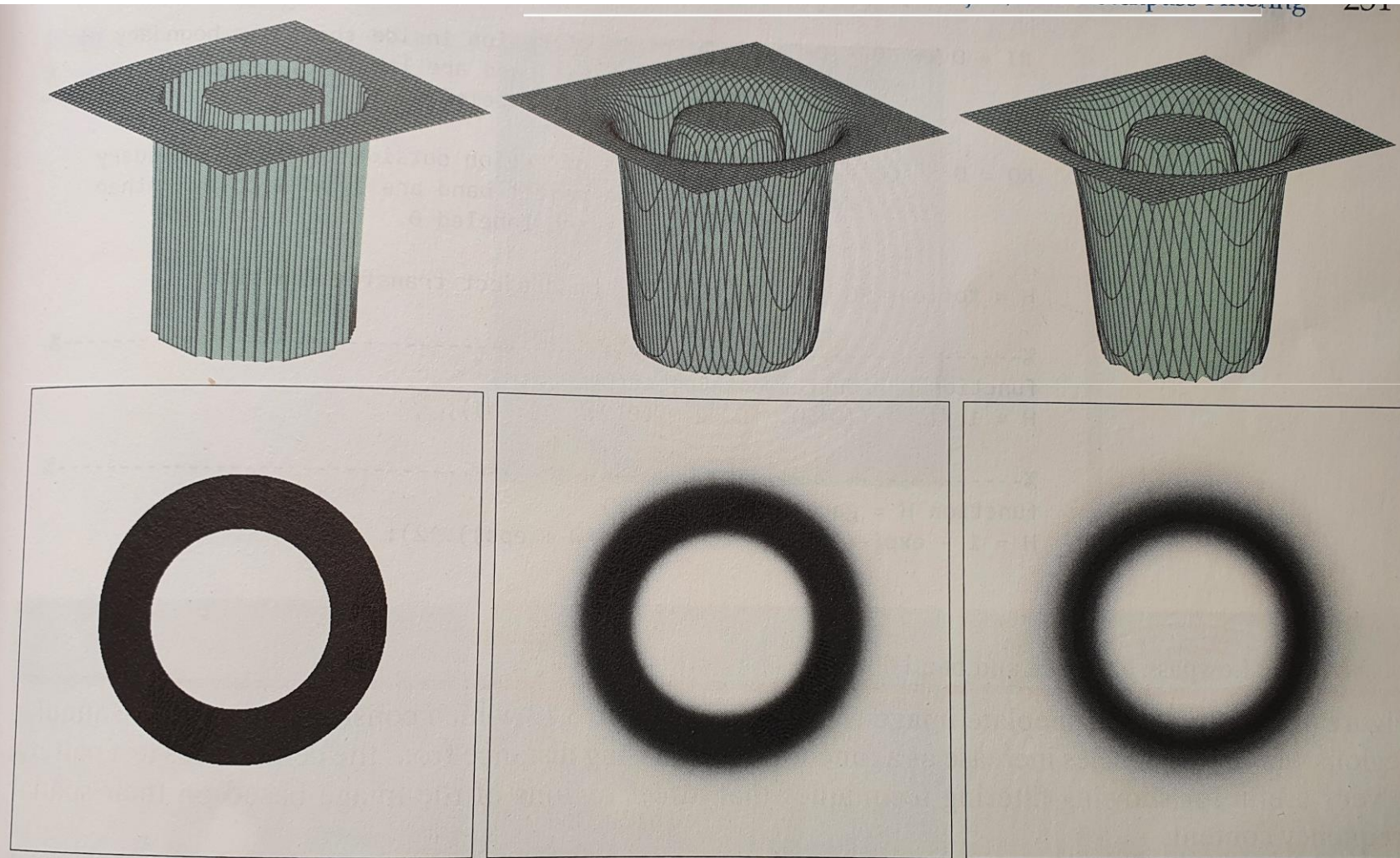


# Bandreject Filters

- *Bandreject filter* berguna bila lokasi umum derau dalam ranah frekuensi diketahui (hasil estimasi).
- *Bandraject filter* akan memblokir frekuensi dalam rentang yang dipilih dan membiarkan frekuensi di luar rentang yang melewatinya.



**FIGURE 5.15** From left to right, perspective plots of ideal, Butterworth (of order 1), and Gaussian bandreject filters.



a b c  
d e f

**FIGURE 4.19** Bandreject transfer functions of (a) ideal, (b) Butterworth, and (c) Gaussian frequency domain filters. Bottom row: Transfer functions displayed as images. The parameters used to generate the transfer functions were  $M = N = 512$ ,  $C_0 = 128$ , and  $W = 60$ . It required  $n = 3$  for the Butterworth function to have a response in between the ideal and Gaussian transfer functions.

- **Ideal Bandreject Filter**

Frekuensi di luar rentang yang diberikan dilewatkan tanpa redaman dan frekuensi di dalam rentang yang diberikan diblokir. Perilaku ini membuat *ideal bandreject filter* menjadi sangat tajam.

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



$D(u,v)$  = jarak dari titik pusat persegi panjang frekuensi ( $M/2, N/2$ )  
 $= [ (u - M/2)^2 + (v - N/2)^2 ]^{1/2}$

$W$  = lebar pita

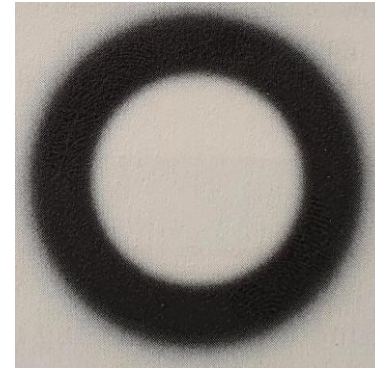
$D_0$  = jari-jari pita (di dalam buku Gonzalez ditulis  $C_0$ )



- **Butterworth Bandreject Filter orde n**

Dengan *Butterworth bandreject filter*, frekuensi di tengah pita sepenuhnya diblokir dan frekuensi di tepi pita dilemahkan. Filter *Butterworth* tidak memiliki diskontinuitas yang tajam antara frekuensi yang dilewatkan dan frekuensi yang difilter.

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

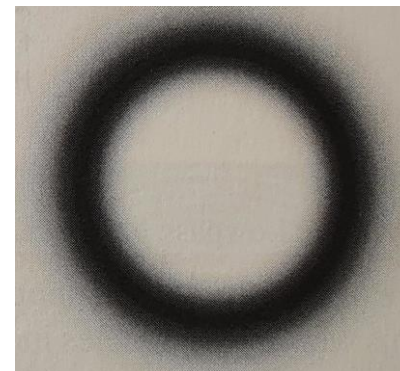


Catatan: Butterworth orde n rendah mendekati Gaussian, dan Butterworth orde tinggi mendekati Ideal.

- **Gaussian Band-Reject Filter**

Dengan jenis filter ini, transisi antara frekuensi tidak terfilter dan terfilter sangat mulus.

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



- Citra hasil rekonstruksi,  $G$ , diperoleh dengan mengalikan citra yang mengalami derau (dalam ranah frekuensi),  $F$ , dengan  $H$ :

$$G(u,v) = F(u,v)H(u,v)$$

- Selanjutnya lakukan *inverse Fourier Transform* untuk memperoleh citra  $g(x,y)$  dalam ranah spasial

# Contoh:



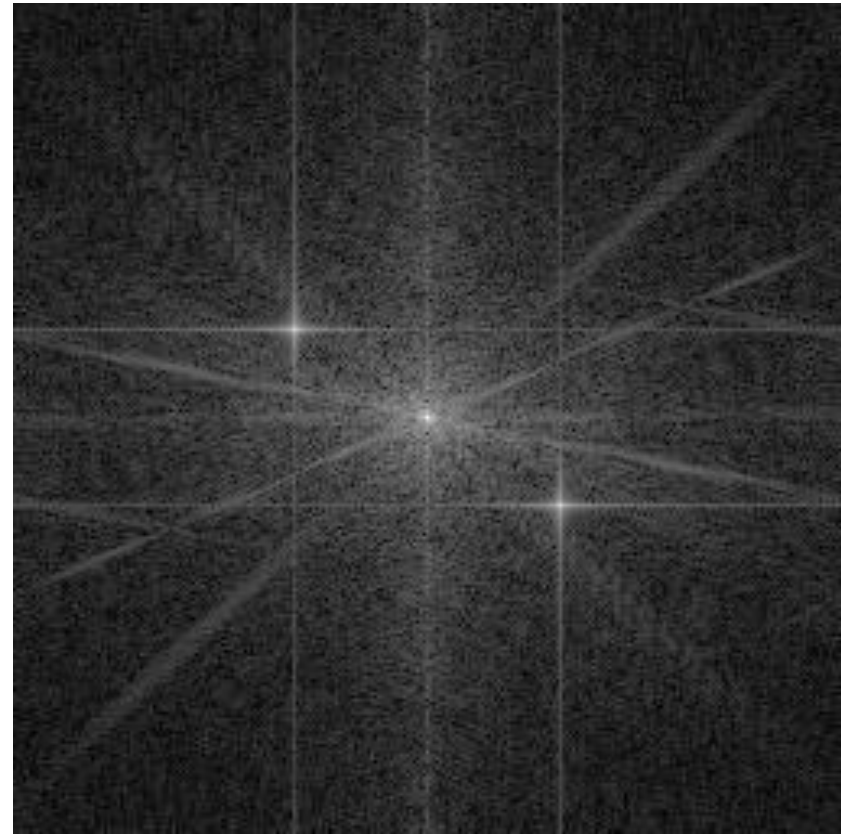
Original image



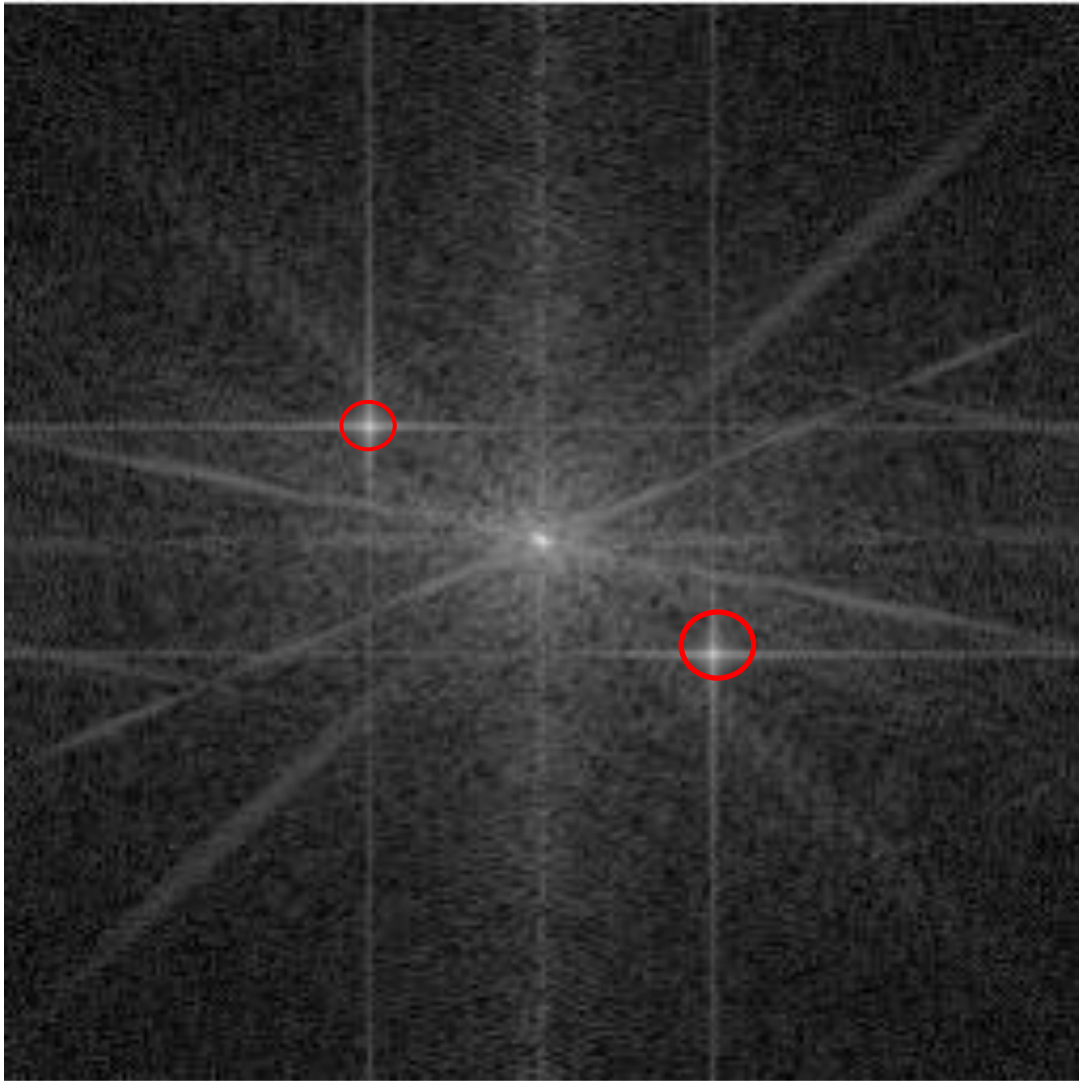
Citra cameraman dengan derau periodik



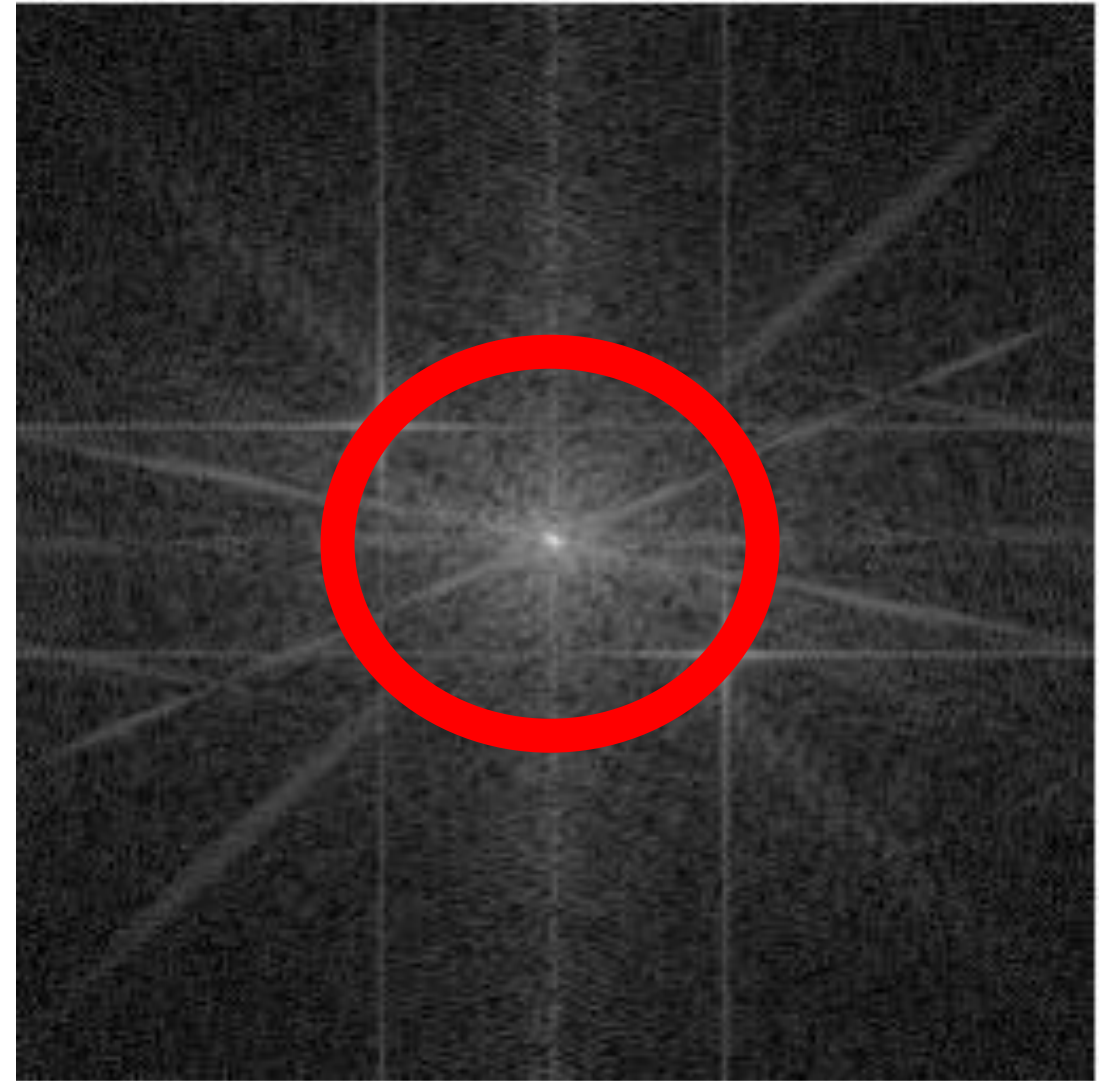
**Fourier spectrum**







Titik-titik *spikes* pada posisi  
(156, 170) dan (102, 88),  
jarak ke titik pusat = 49



Jari-jari lingkaran band filter = 49  
( $C_0 = 49$ ,  $W = 5$ )

# Program Matlab

```
% Bandreject filtering
f=imread('cameraman_noise2.bmp');
imshow(f);
[M,N] = size(f);
imshow(f);title('original image');

% Lakukan transformasi Fourier pada f(x, y)
% Display the Fourier Spectrum
f = im2double(f);
F = fft2(f);
F = fftshift(F); % move the origin of the transform to the center of the
frequency rectangle
S2 = log(1+abs(F)); % use abs to compute the magnitude (handling imaginary)
and use log to brighten display
figure, imshow(S2, []); title('Fourier spectrum');
```

```

%Bangkitkan fungsi penapis H berukuran M x N, misalkan penapis
%yang digunakan adalah Butterworth Bandreject Filter orde n = 1

% Set up range of variables.
u = 0:(M-1);
v = 0:(N-1);

% Compute the indices for use in meshgrid
idx = find(u > M/2);
u(idx) = u(idx) - M;
idy = find(v > N/2);
v(idy) = v(idy) - N;

% Compute the meshgrid arrays
[V, U] = meshgrid(v, u);
D = sqrt(U.^2 + V.^2);

D0 = 32;
W = 6;
n = 1; H = 1./(1 + ((D*W)./(D.^2 - D0^2)).^(2*n));
H = fftshift(H);
figure;imshow(H);title('Butterworth Bandreject Filter orde n = 1');

```

```
%Kalikan F dengan H
G = H.*F;

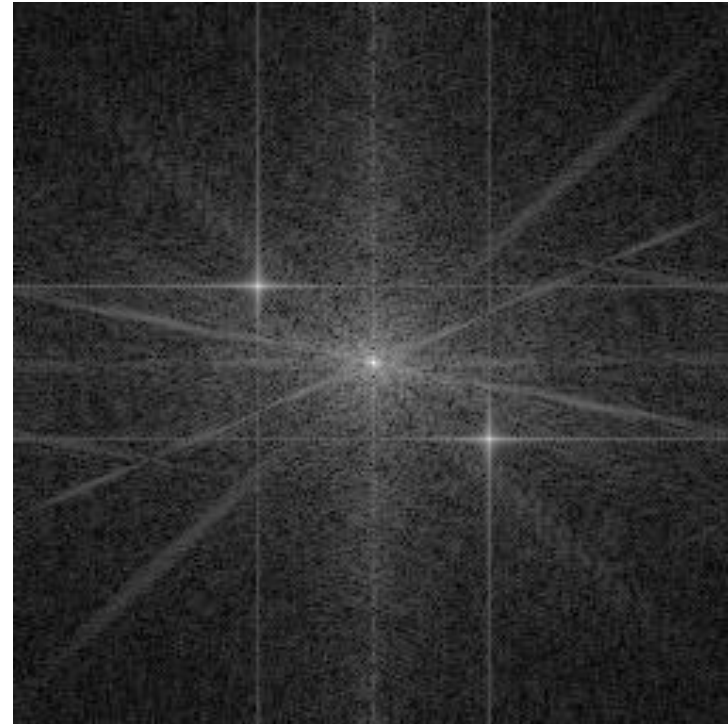
%Ambil bagian real dari inverse FFT of G:
G = real(ifft2(G)); % apply the inverse, discrete Fourier transform
figure; imshow(G);title('Output image');
```

# Hasil run program

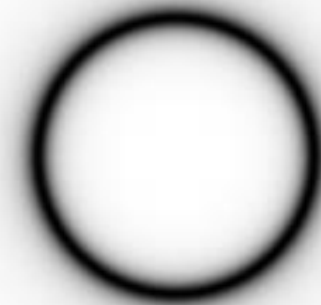
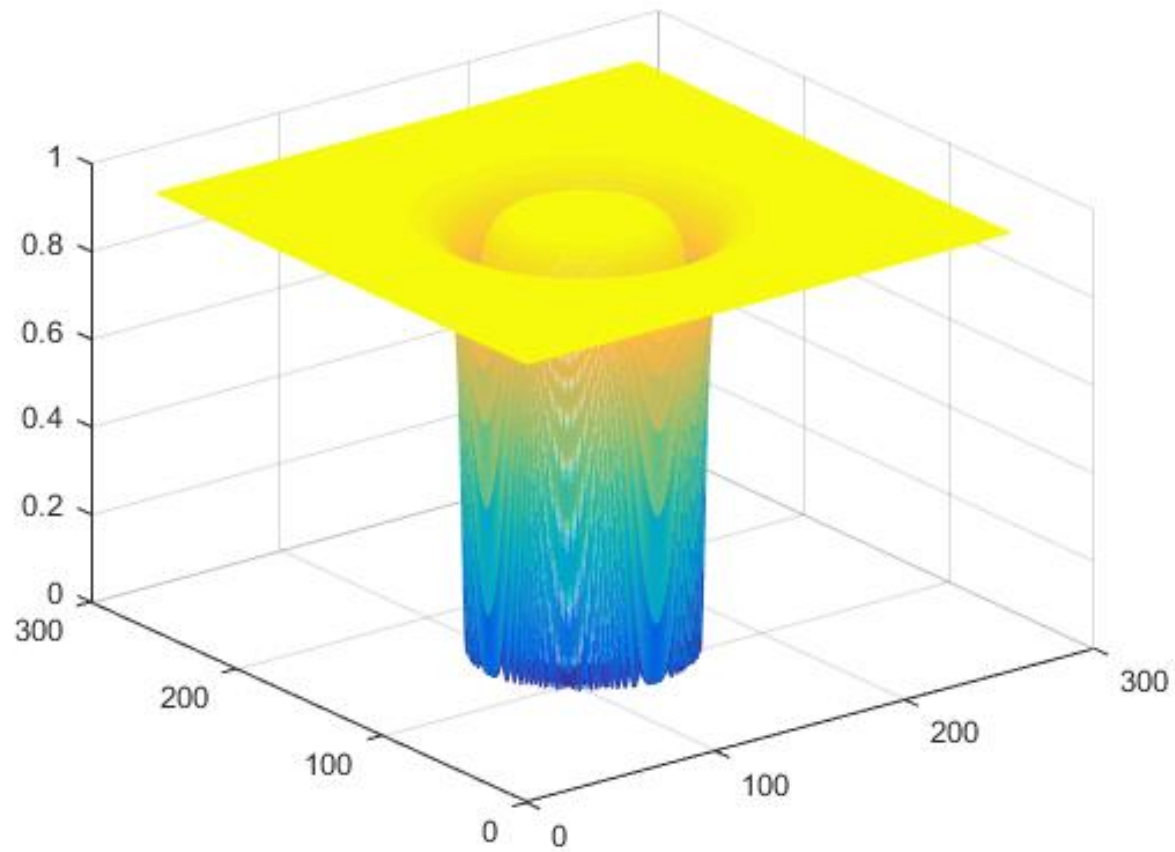
Noisy image



Fourier spectrum



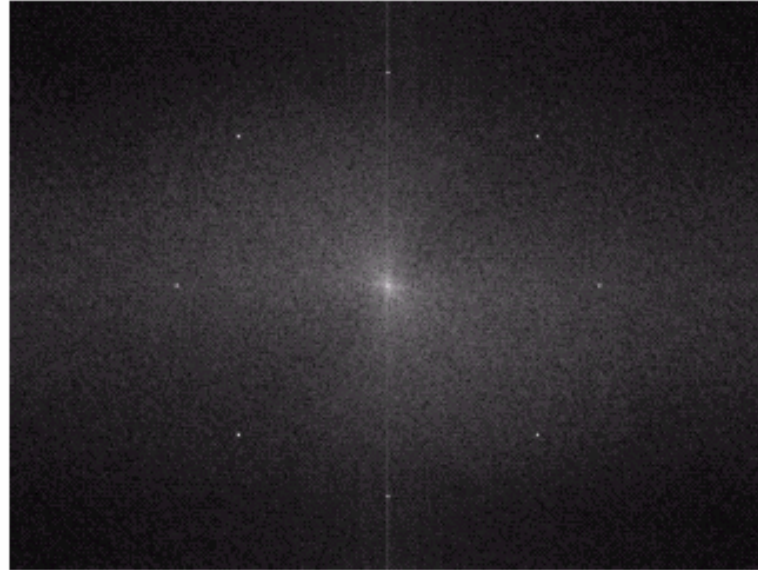
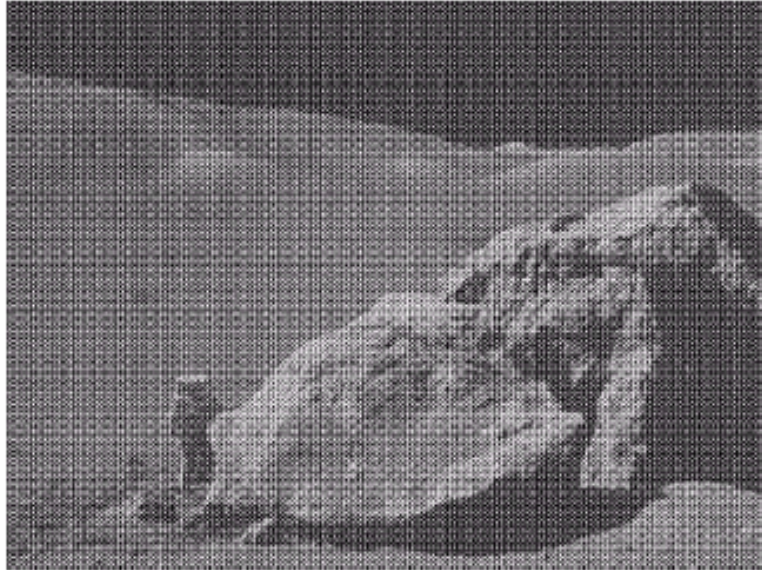
## Butterworth Bandreject Filter orde $n = 1$



## Output image



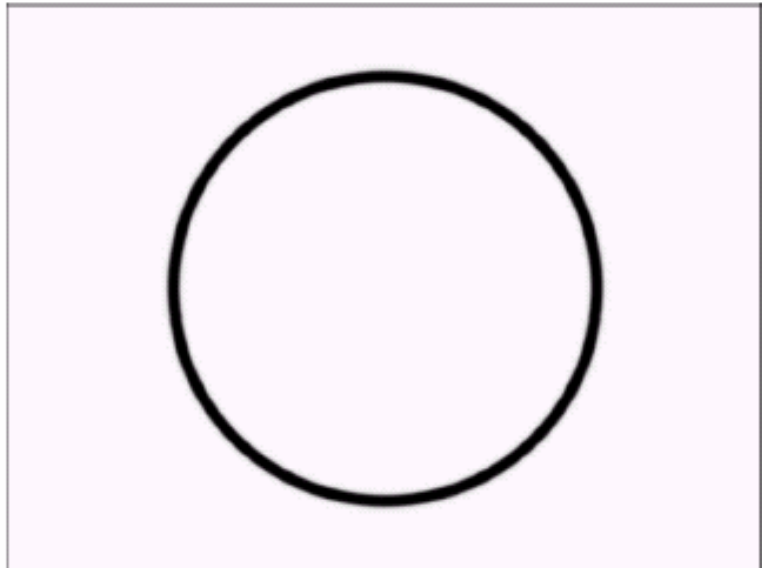




|   |   |
|---|---|
| a | b |
| c | d |

**FIGURE 5.16**  
(a) Image corrupted by sinusoidal noise.  
(b) Spectrum of (a).  
(c) Butterworth bandreject filter (white represents 1).  
(d) Result of filtering. (Original image courtesy of NASA.)

---



# Contoh lainnya:

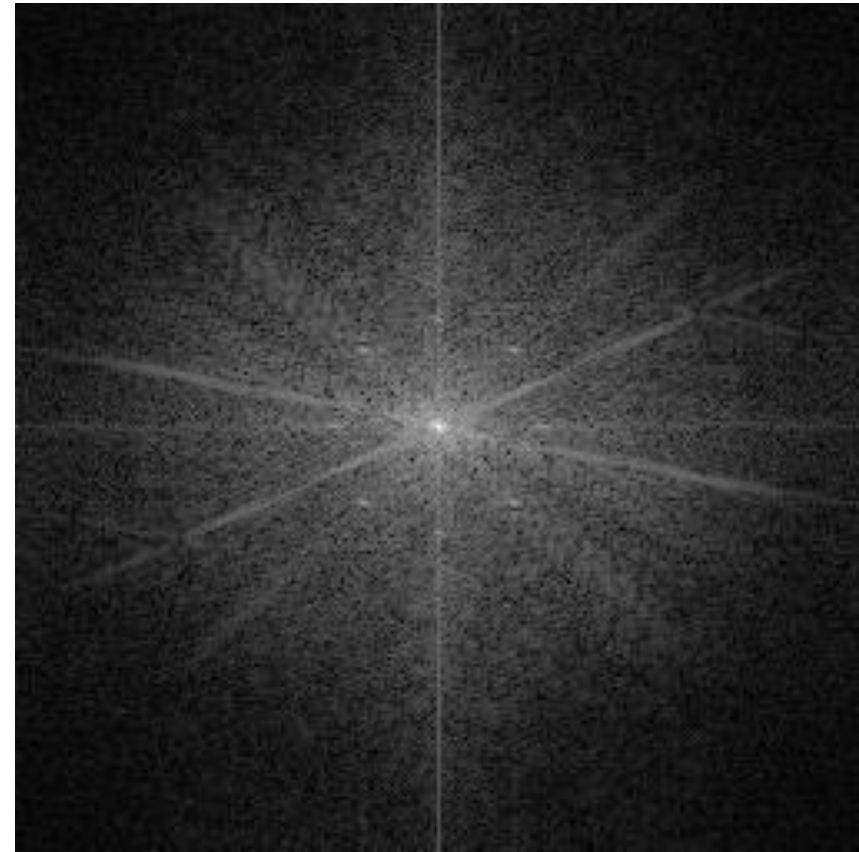


Original image

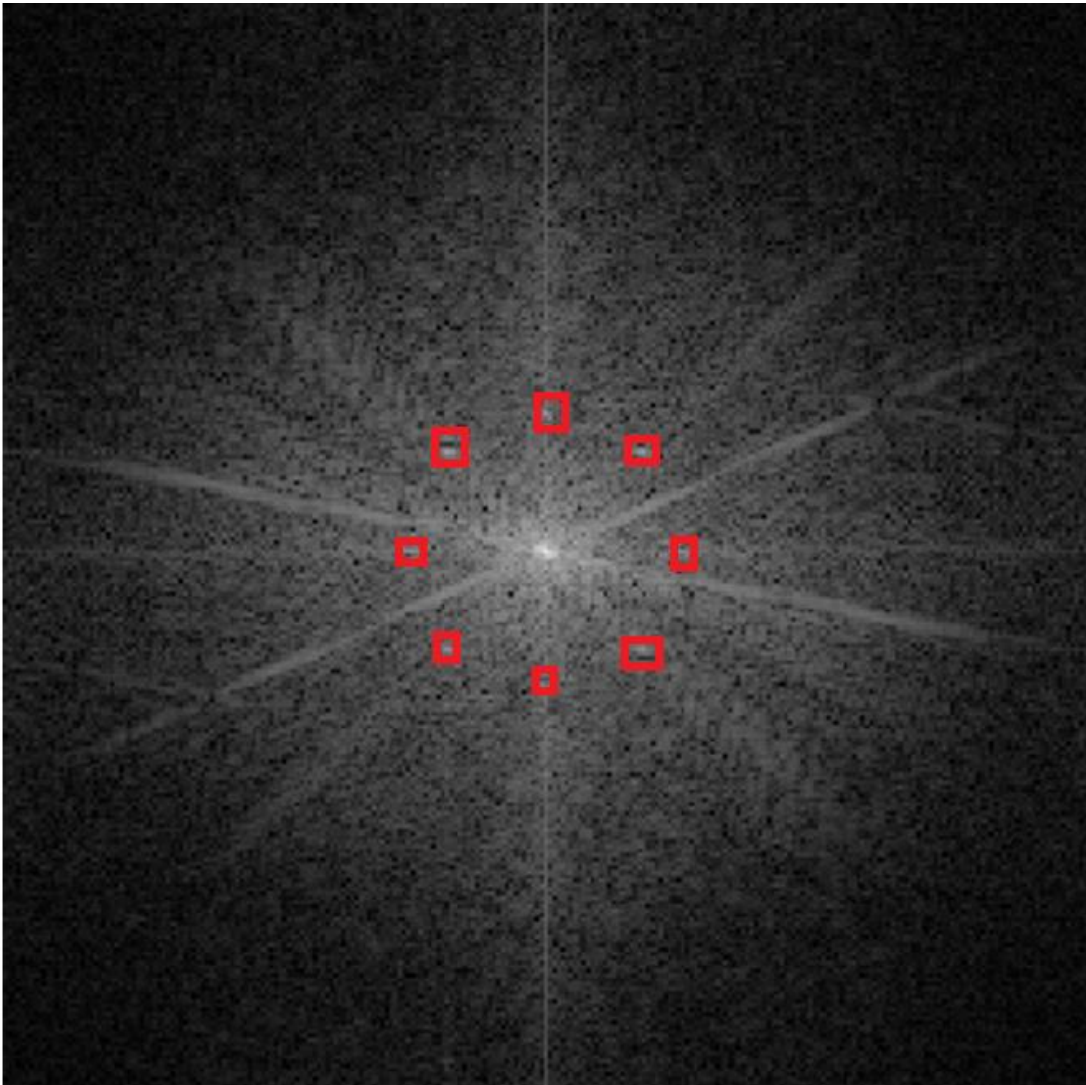


Citra cameraman dengan derau periodik

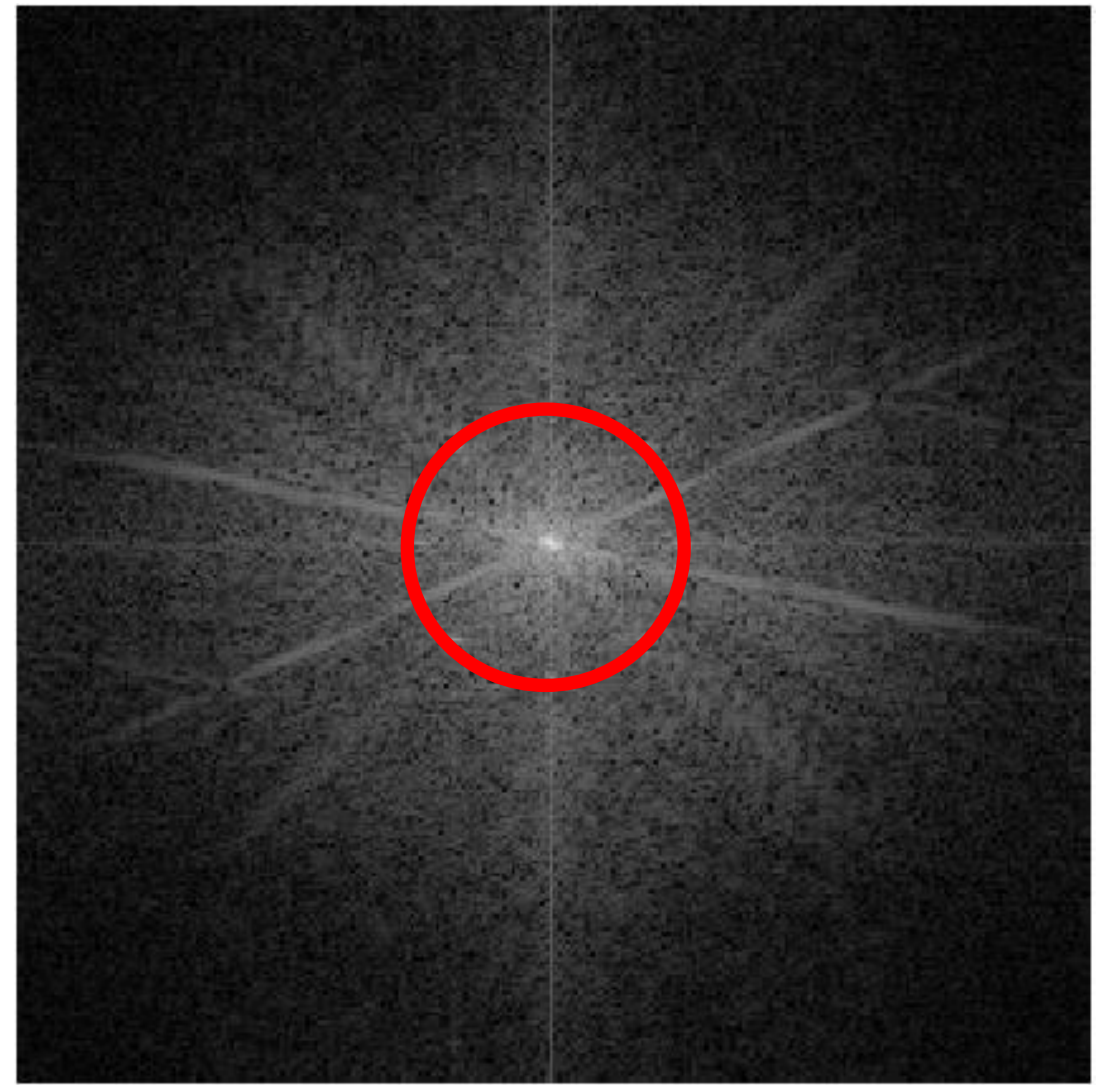
## Fourier spectrum







Titik-titik *spikes*



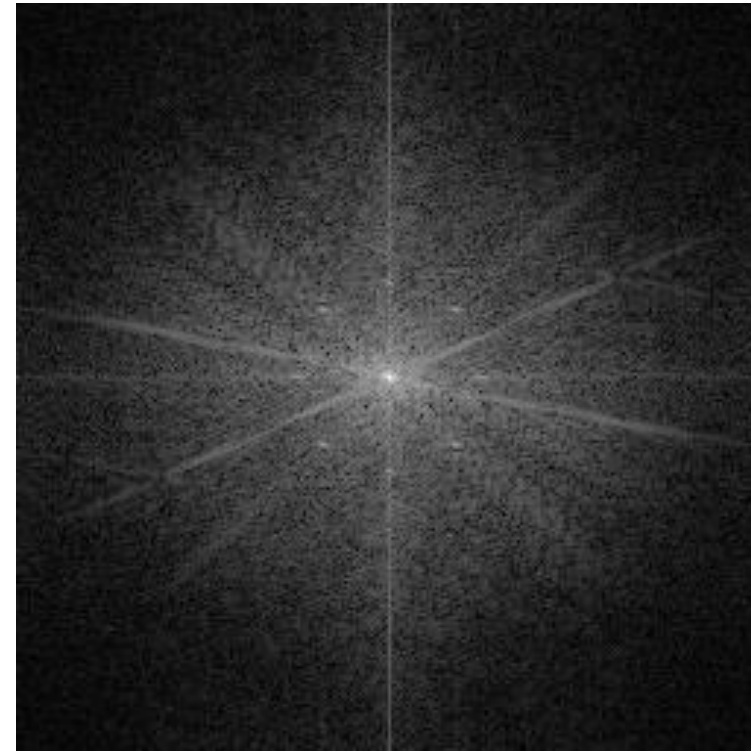
Perkiraan jari-jari lingkaran band filter = 32  
( $C0 = 32$ ,  $W = 6$ )

# Hasil run program

## original image



## Fourier spectrum



## Butterworth Bandreject Filter orde $n = 1$



Output image

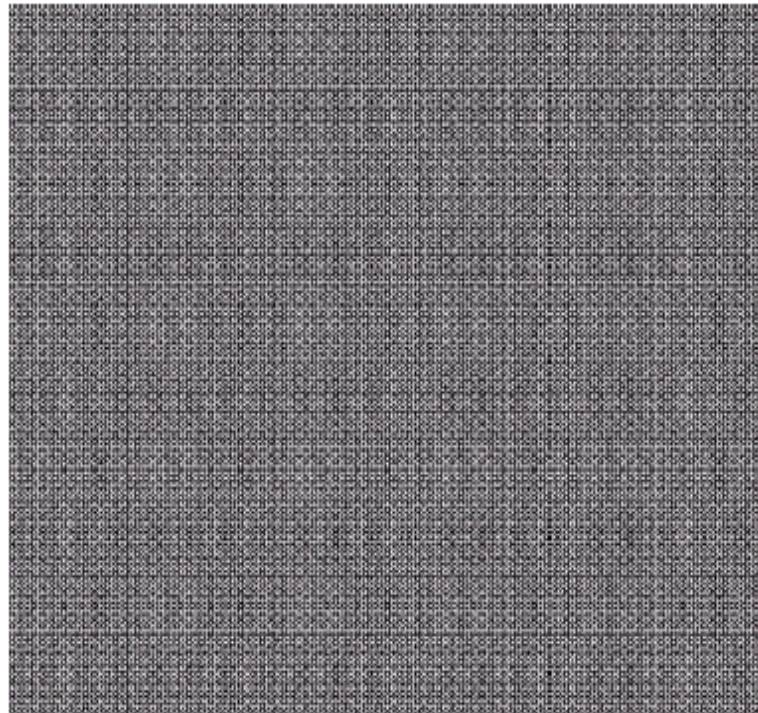


# Bandpass Filter

- Band-Pass Filters
  - Operasinya berlawanan dengan *band-reject filter*

$$H_{bp} = 1 - H_{br}(u, v)$$

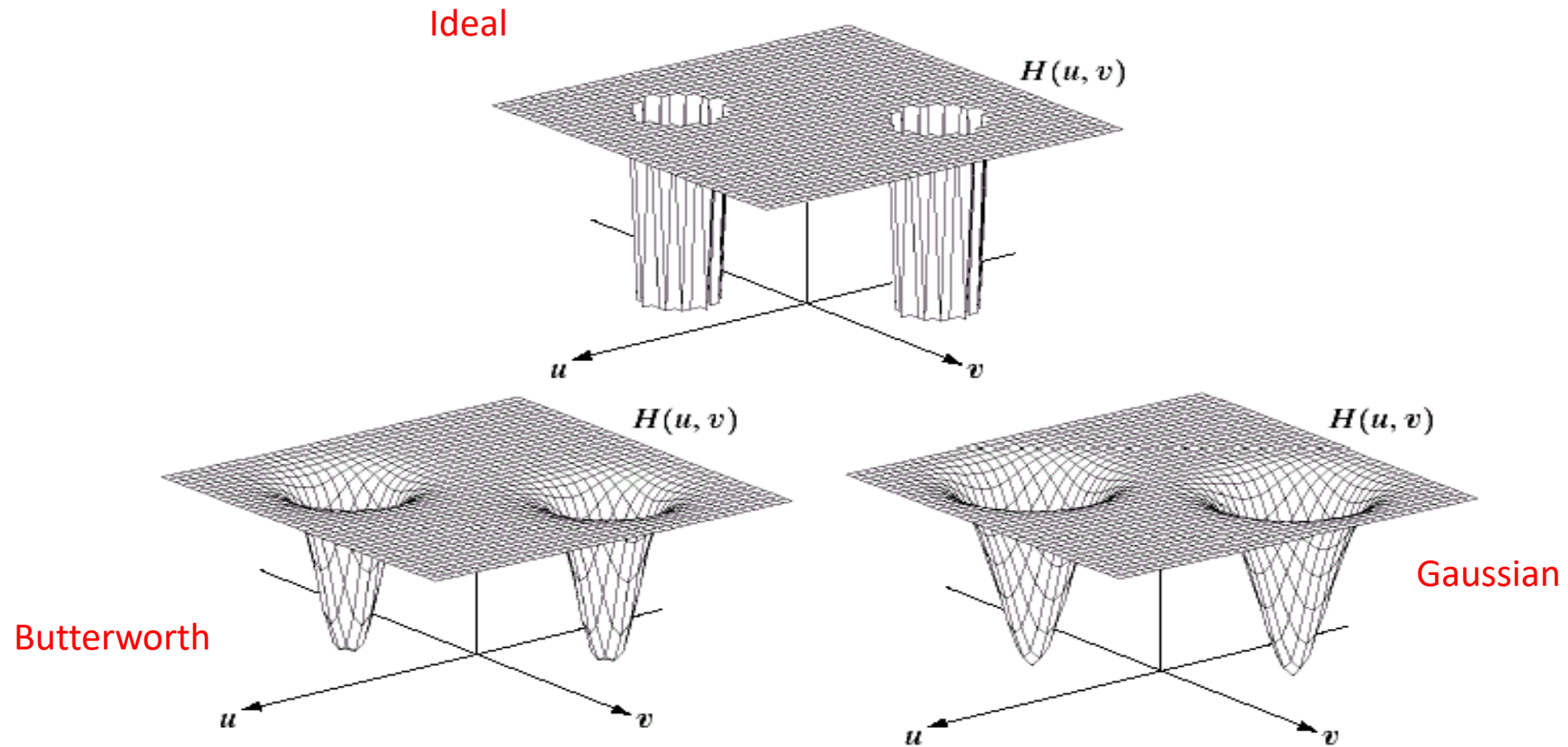
**FIGURE 5.17**  
Noise pattern of  
the image in  
Fig. 5.16(a)  
obtained by  
bandpass filtering.





# Notch Filters

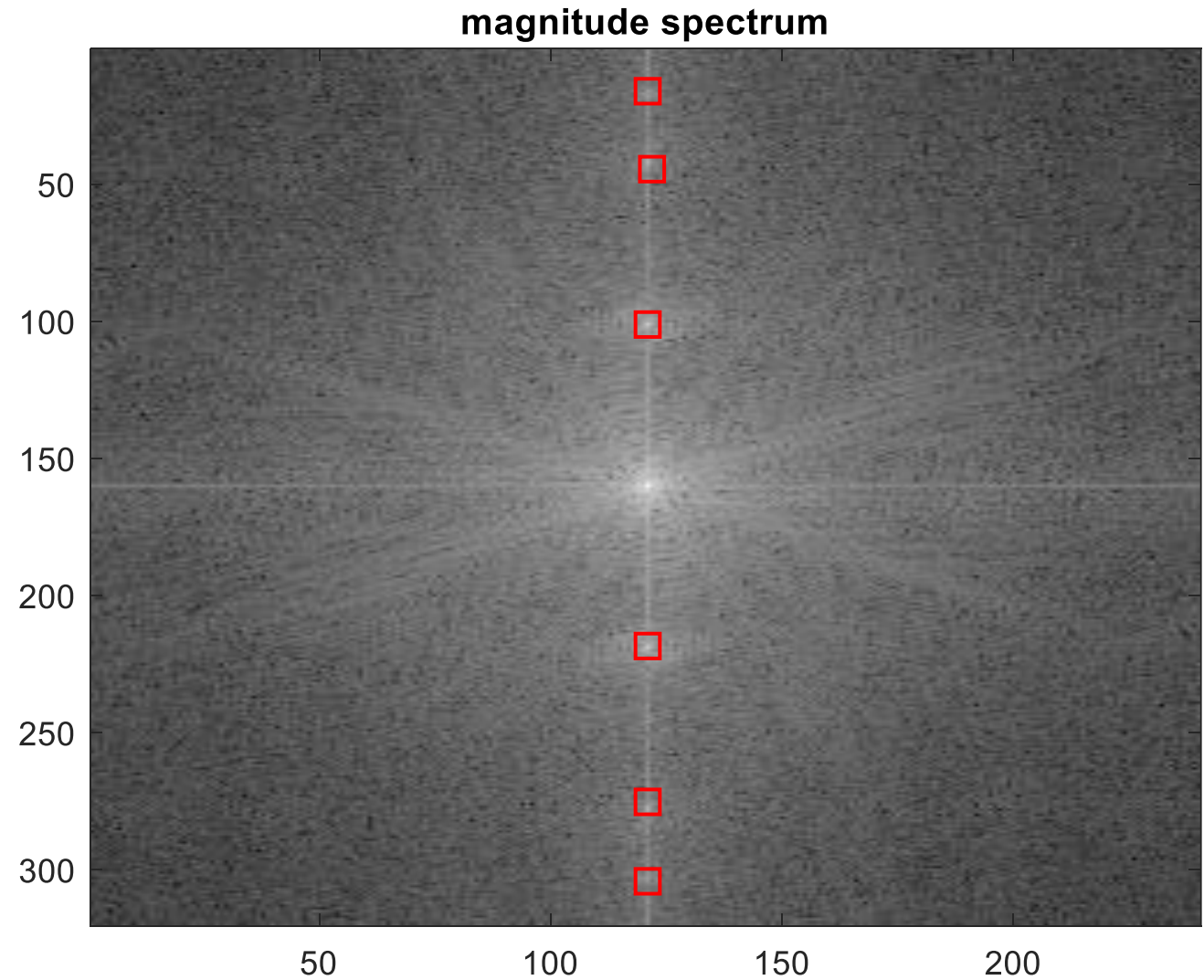
- *Notch Filters*
  - Bertujuan untuk menolak (atau melewatkan) frekuensi pada baris dan kolom yang “spikes”.
  - Perlu diperkirakan di bagian mana lokasi frekuensi yang *spikes*
  - Biasanya muncul berpasangan secara simetris terhadap titik asal (titik tengah persegi panjang)
  - Jika “menolak” maka disebut *notch reject filter*, jika “melewatkan” maka disebut *notch pass filter*.



a  
b c

**FIGURE 5.18** Perspective plots of (a) ideal, (b) Butterworth (of order 2), and (c) Gaussian notch (reject) filters.

## Contoh:



Frekuensi yang mengalami derau ditentukan secara manual, kira-kira pada kolom 115-125, dan pada baris 12-22, 37-47, 96-106, 216-226, 274-284, 298-308.

## Program Matlab (Sumber: <https://www.mathworks.com> )

```
I = imread('india.bmp'); % Baca citra
imshow(I);

% Terapkan Fourier Transform
F = fft2(double(I));
F1 = fftshift(F); % Pusatkan FFT

% Tampilkan magnitute spektrum Fourier
F2 = F1;
F2 = abs(F2); % Get the magnitude
F2 = log(F2+1); % Use log
figure, imagesc(100*F2); colormap(gray);
title('magnitude spectrum');
```

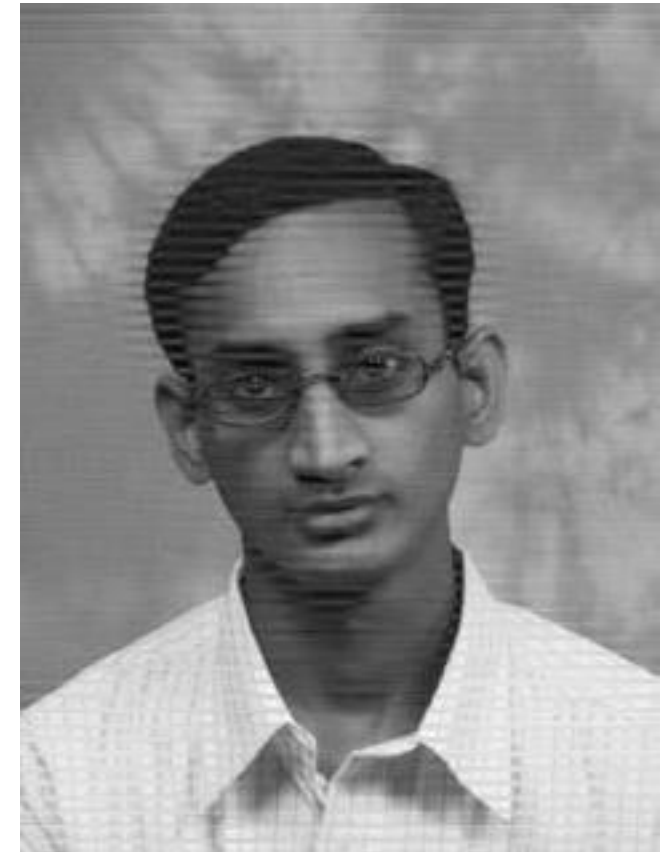
```

% Notch filter, Buang frekuensi yang mengganggu, set jadi 0
for j = 115:125
    for i = 96:106
        F1(i,j) = 0;
    end
    for i = 216:226
        F1(i,j) = 0;
    end
    for i = 274:284
        F1(i,j) = 0;
    end
    for i = 298:308
        F1(i,j) = 0;
    end
    for i = 12:22
        F1(i,j) = 0;
    end
    for i = 37:47
        F1(i,j) = 0;
    end
end
end

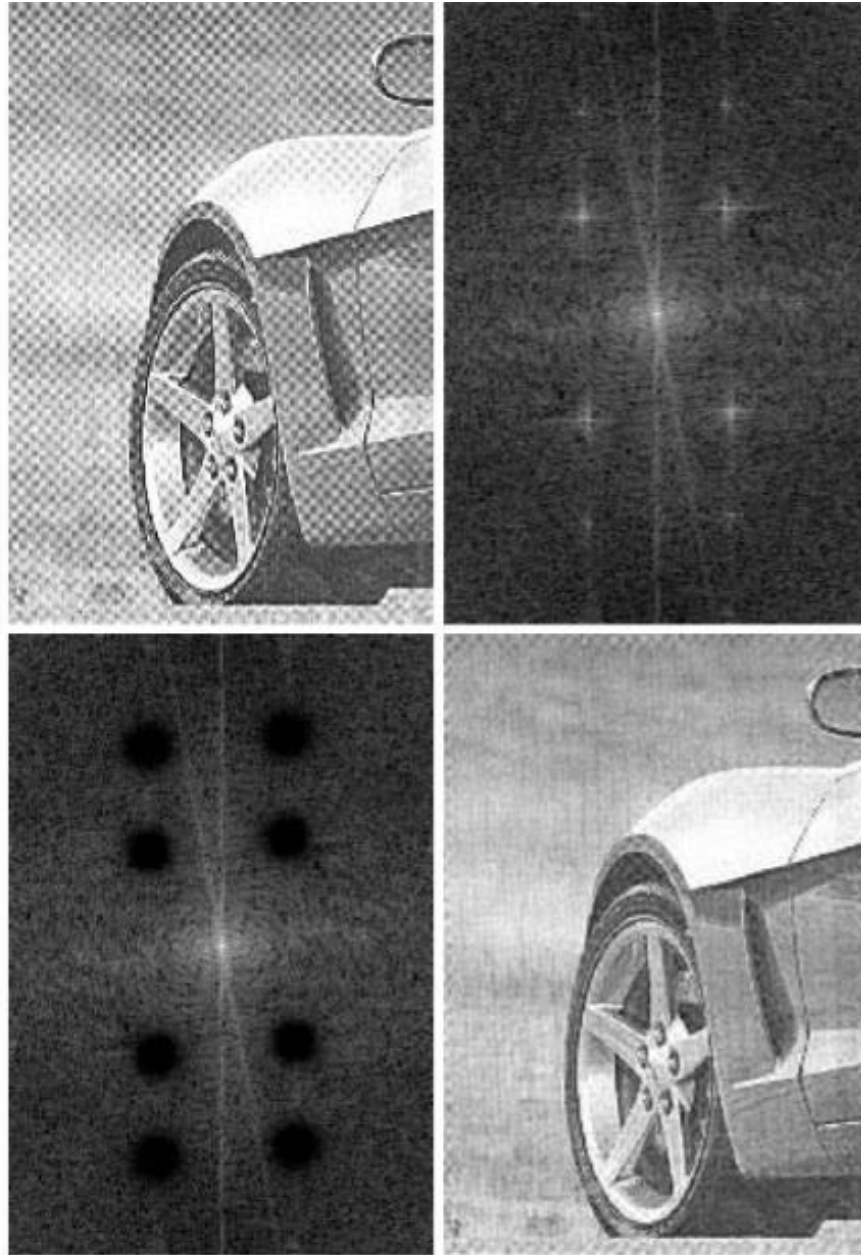
%Kembalikan ke ranah spasial
J = real(ifft2(ifftshift(F1)));
figure, imshow(J,[]);

```

Hasil penapisan frekuensi derau:



Examples:  
Notch  
Filters (1)



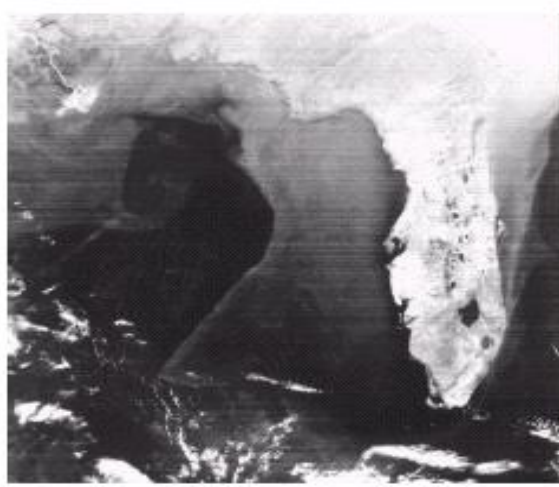
a b  
c d

**FIGURE 4.64**

(a) Sampled newspaper image showing a moiré pattern. (b) Spectrum. (c) Butterworth notch reject filter multiplied by the Fourier transform. (d) Filtered image.

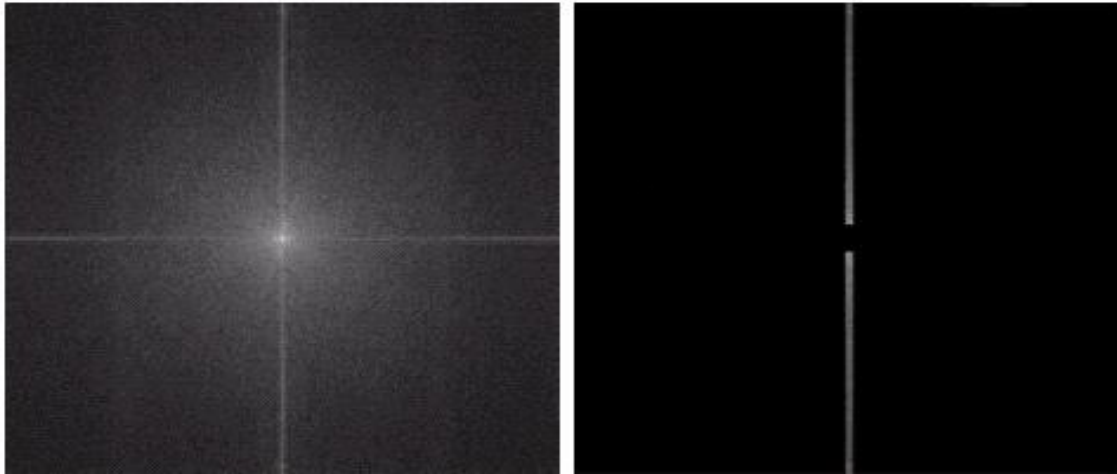
A Butterworth notch reject filter  $D_0=3$  and  $n=4$  for all notch pairs



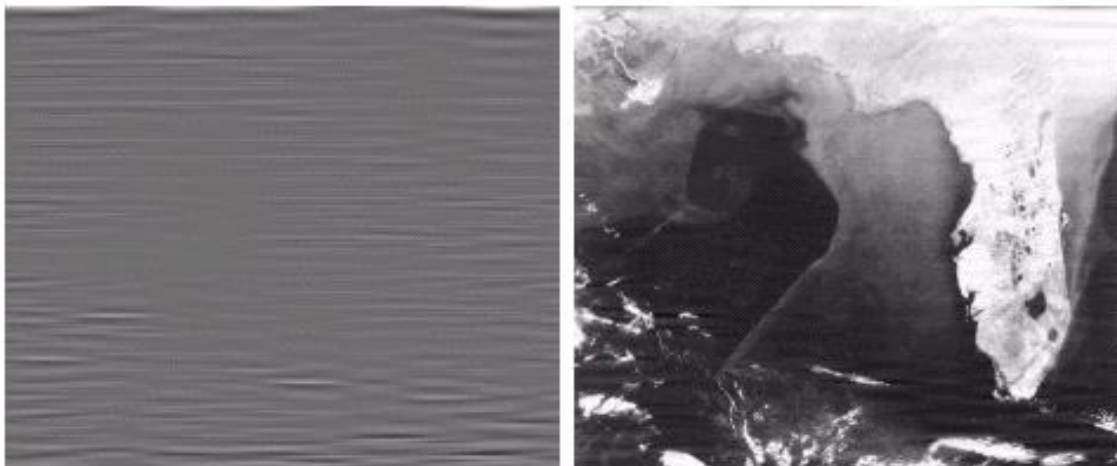


a  
b c  
d e

**FIGURE 5.19** (a) Satellite image of Florida and the Gulf of Mexico (note horizontal sensor scan lines). (b) Spectrum of (a). (c) Notch pass filter shown superimposed on (b). (d) Inverse Fourier transform of filtered image, showing noise pattern in the spatial domain. (e) Result of notch reject filtering. (Original image courtesy of NOAA.)



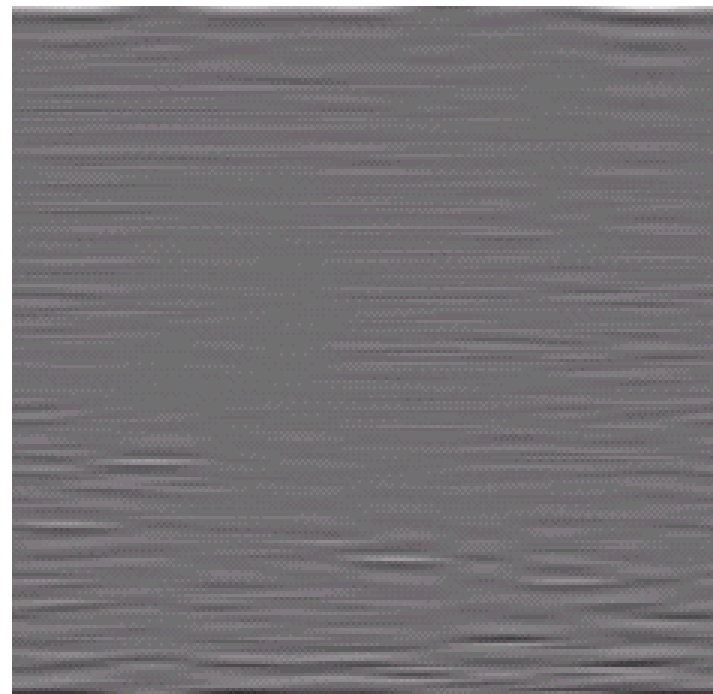
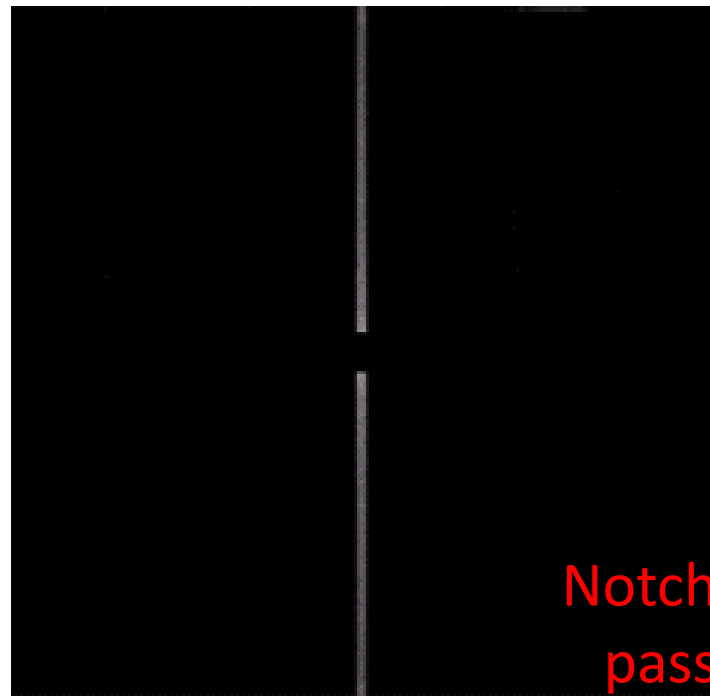
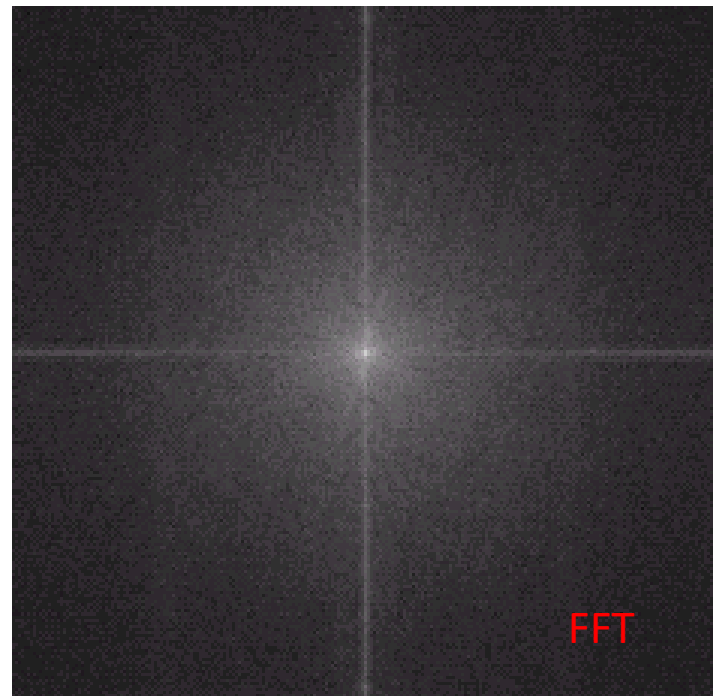
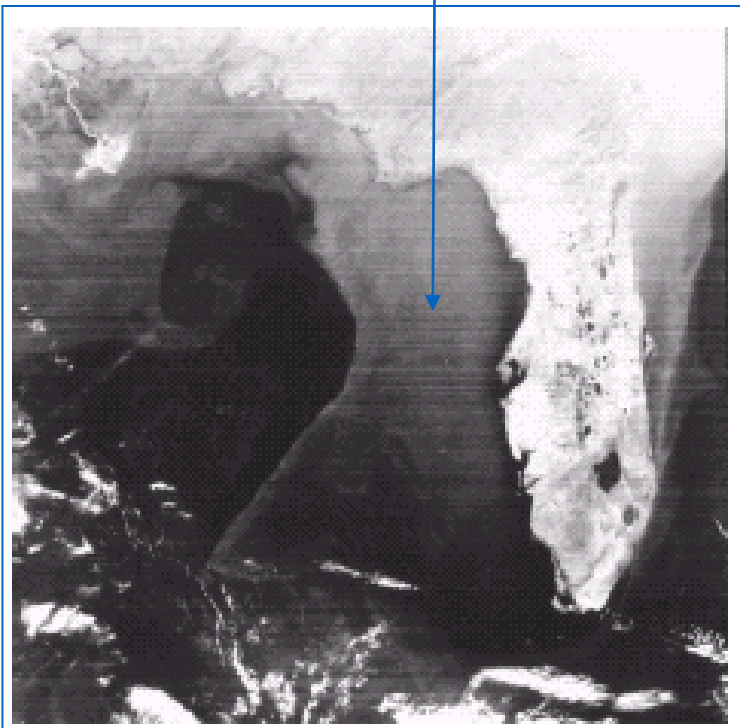
Notch pass filter



Horizontal lines of the noise pattern I can be seen



Horizontal  
Scan lines



# Motion Blur

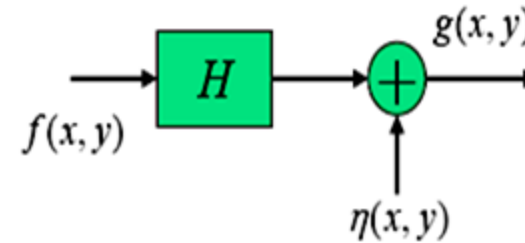
- Derau *motion blur* disebabkan oleh kamera yang bergerak atau objek yang bergerak



- Misalkan  $H(u,v)$  adalah fungsi yang menyebabkan citra mengalami degradasi motion blur.

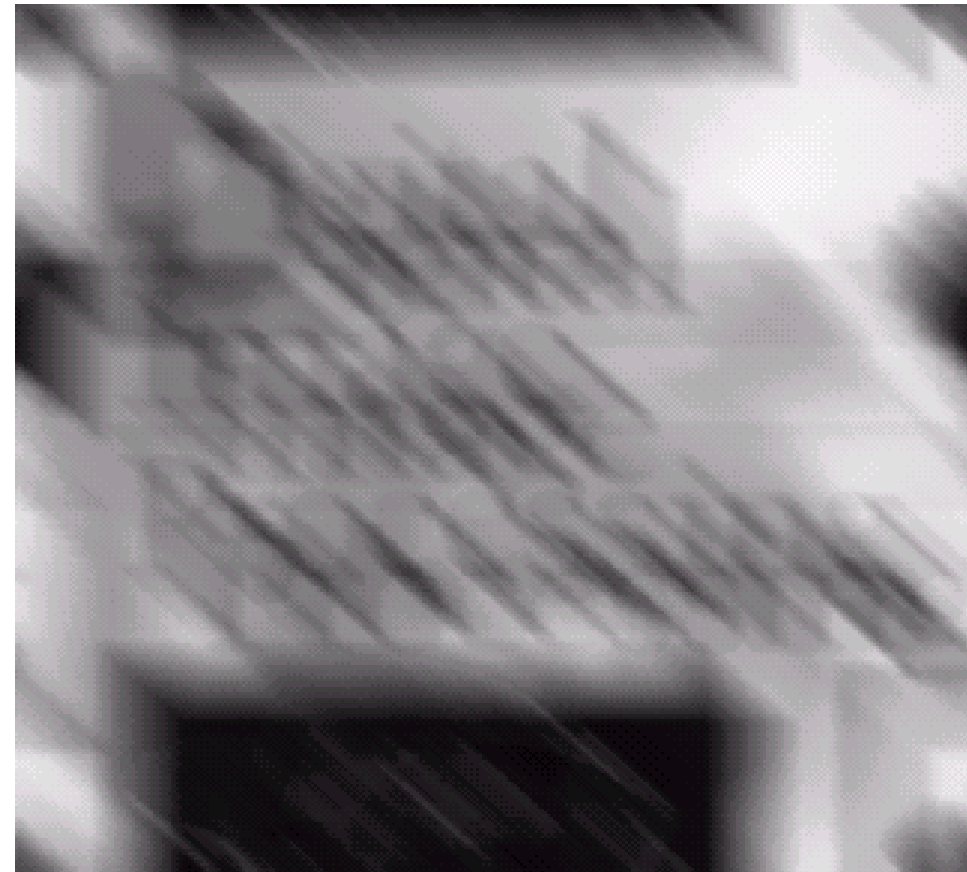
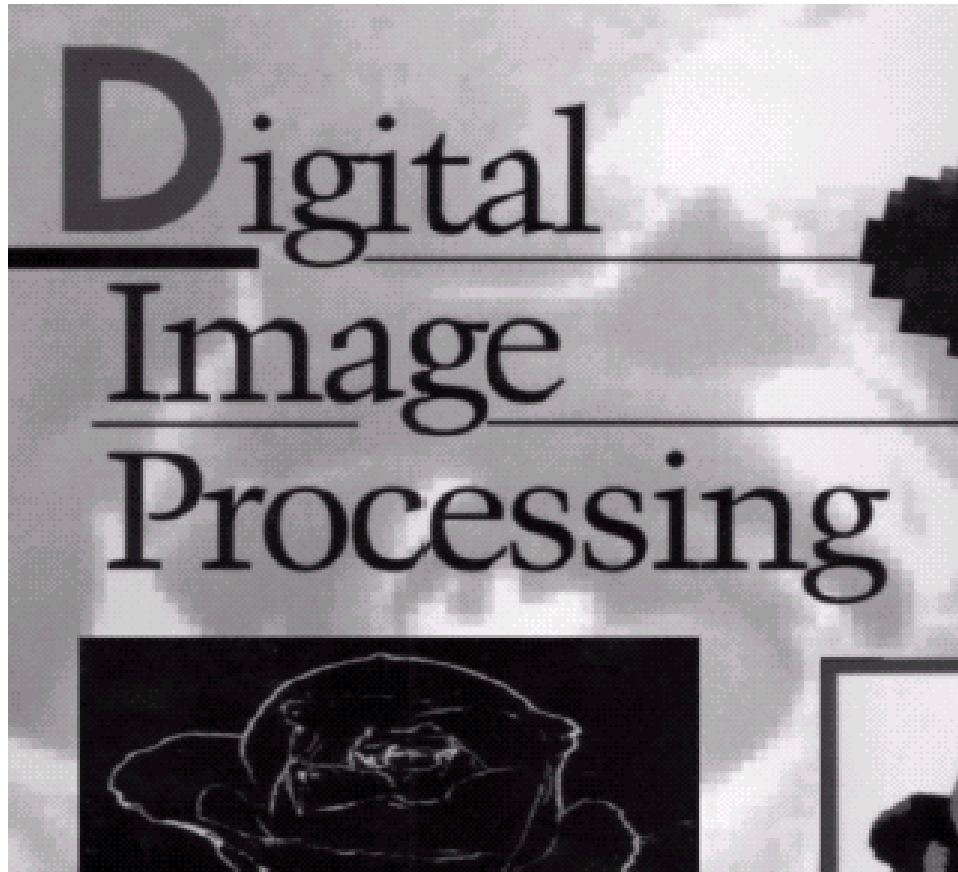
$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y)$$

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



- Misalkan  $H$  adalah fungsi **motion linier uniform**. Gerakan dalam arah  $x$  dan dalam arah  $y$  adalah  $x_0(t)=at/T$  dan  $y_0(t)=bt/T$ . Misalkan akibat *motion blur* pixel-pixel citra sudah berpindah sejauh  $a$  dalam arah  $x$  dan  $b$  dalam arah  $y$ , maka

$$H(u, v) = \frac{T}{\pi(ua + vb)} \sin[\pi(ua + vb)] e^{-j\pi(ua+vb)}$$



a b

**FIGURE 5.26** (a) Original image. (b) Result of blurring using the function in Eq. (5.6-11) with  $a = b = 0.1$  and  $T = 1$ .

- Fungsi degradasi  $H$  di dalam persamaan

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

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

kadang-kadang dinamakan juga ***point spread spectrum*** (PSF)

Contoh: citra bintang seharusnya tampak seperti pixel tunggal, tetapi yang tertangkap oleh kamera teleskop adalah citra yang diamati menyebar pada beberapa pixel,



**Gambar 1.1.** *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*.

- Jadi, citra terdegradasi dapat ditulis sebagai:

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

- Sehingga, pekerjaan mendasar pada proses *deblurring* adalah **dekonvolusi** citra *motion blur* dengan PSF.
- Dekonvolusi adalah proses yang membalikkan efek konvolusi.
- Kualitas citra hasil *deblurring* terutama ditentukan oleh pengetahuan tentang PSF.

- Program Matlab untuk menghasilkan efek *motion blur*

```
I = imread('camera.bmp');  
% the linear motion of a camera by 20 pixels, with an angle of 45 degrees  
% in a counterclockwise direction. Default len = 9 and degree = 0  
H = fspecial('motion', 20, 45);  
MotionBlur = imfilter(I,H,'replicate');  
imshow(MotionBlur);
```





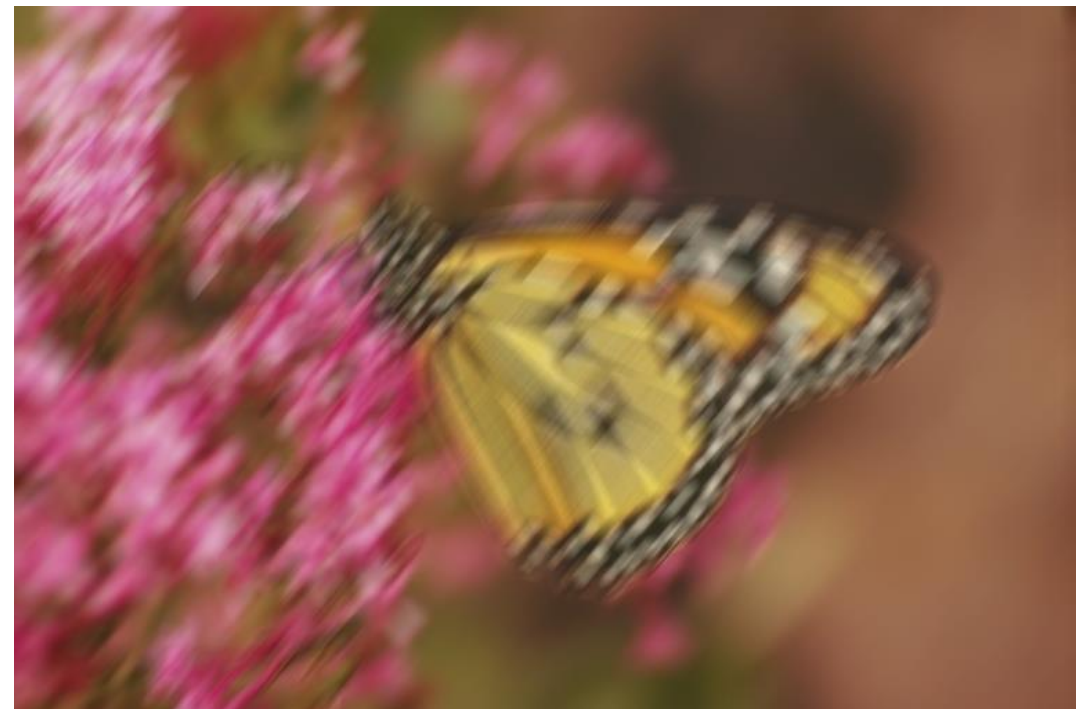
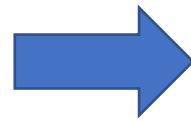
- Bedakan *motion blur* dengan *blur* biasa (misalnya yang dihasilkan oleh penapis *gaussian*):

```
I = imread('camera.bmp');  
H = fspecial('gaussian', 9, 5); %Penapis gaussian 9x9, standard deviasi=2  
Blur = imfilter(I,H,'replicate');  
imshow(Blur);
```





```
I = imread('monarch.jpg');  
% the linear motion of a camera by len = 30 pixels and tetha = 50 degrees  
% in a counterclockwise direction. Deafult len = 9 and tetha = 0  
H = fspecial('motion', 30, 50);  
MotionBlur = imfilter(I,H,'replicate');  
imshow(MotionBlur);
```



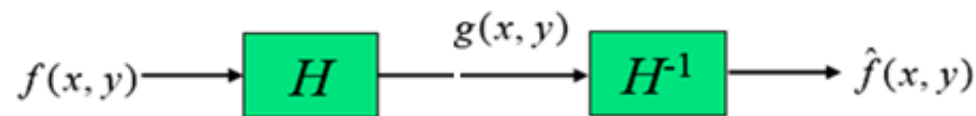
# Inverse Filtering

- Misalkan tidak terdapat derau aditif, maka citra degradasi dapat digambarkan sebagai  $g(x, y) = f(x, y) * h(x, y)$ .

- Dalam ranah frekuensi, maka

$$G(u, v) = F(u, v) \cdot H(u, v) \Leftrightarrow \hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)}$$

Estimasi  
citra semula



$$\hat{f}(x, y) = g(x, y)h^{-1}(x, y)$$
$$\hat{F}(u, v) = G(u, v)H^{-1}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)}$$

- Metode ini dinamakan *inverse filtering* atau dekonvolusi

- Jika terdapat derau aditif, maka  $g(x, y) = f(x, y) * h(x, y) + n(x, y)$ , sehingga

$$\hat{F}(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} - \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$$

Masalah: jika  $H = 0$  atau nilai yang sangat kecil

### Masalah:

- Nilai  $H(u, v)$  yang kecil dapat menyebabkan overflow.
- Jika derau aditif dilibatkan, maka ia akan mendominasi

### Solusi:

- Lakukan pembagian hanya pada bagian terbatas bidang  $(u, v)$  sejauh radius tertentu dari titik asal.

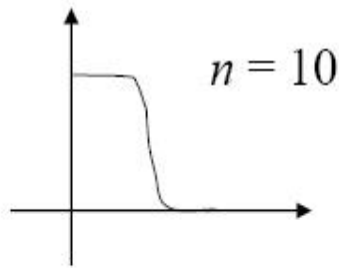
# Inverse filtering

Fungsi degradasi

$$H(u, v) = e^{-k[(u-M/2)^2 + (v-N/2)^2]^{5/6}}$$

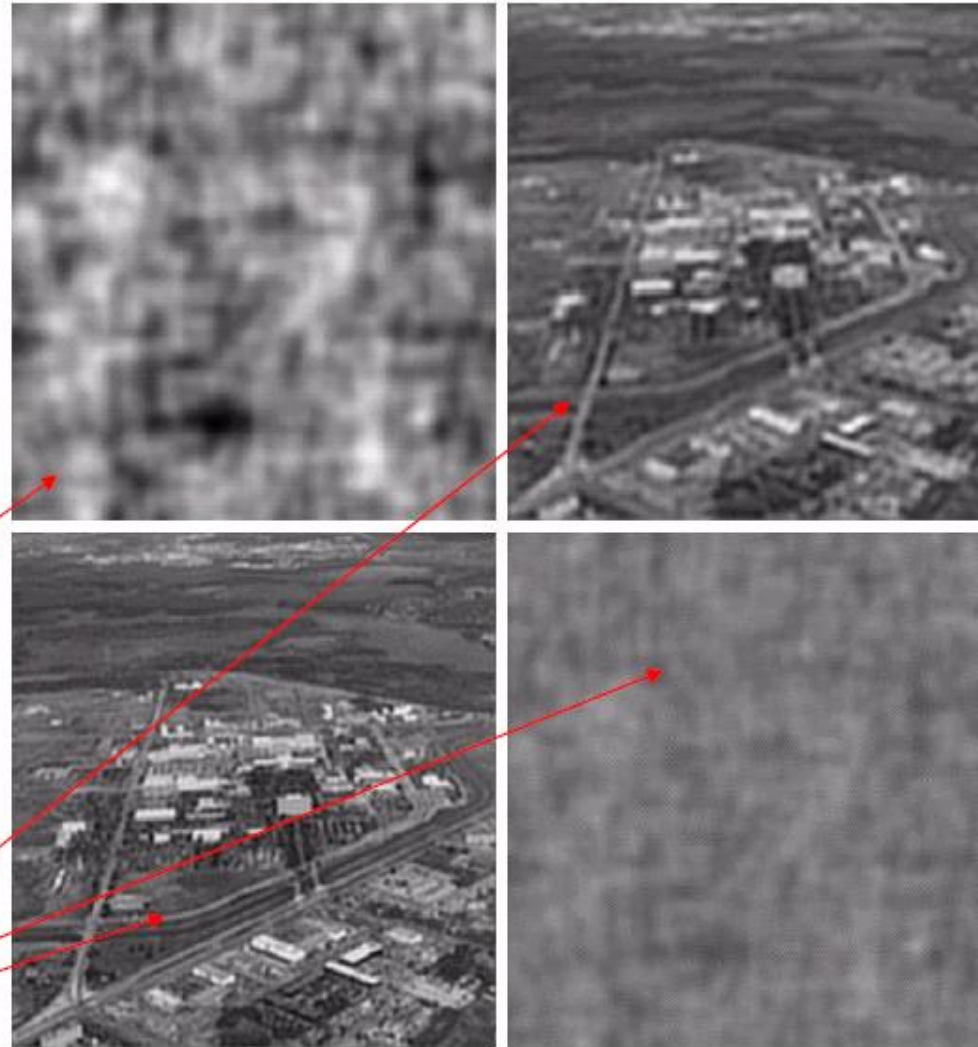
- An example

Butterworth filter  $H_b$



a b  
c d

**FIGURE 5.27**  
Restoring Fig. 5.25(b) with Eq. (5.7-1). (a) Result of using the full filter. (b) Result with  $H$  cut off outside a radius of 40; (c) outside a radius of 70; and (d) outside a radius of 85.



$$\frac{G(u, v)}{H(u, v)} = \hat{F}(u, v) \Leftrightarrow \hat{f}(x, y)$$

$$\frac{G(u, v)}{H(u, v)} H_b(u, v) = \hat{F}(u, v)$$

$$\Updownarrow$$

$$\hat{f}(x, y)$$

Memotong nilai-nilai ratio di luar radius 40, 70, 85.

# Penapis Wiener

- Penapis ini ditemukan oleh N. Wiener pada tahun 1942
- Penapis ini efektif bila karakteristik frekuensi citra dan derau aditif diketahui. Jika tidak ada derau aditif, penapis Wiener menjadi penapis yang ideal.
- Penapis Wiener mengestimasi  $\hat{f}$  dengan meminimumkan galat, yaitu selisih citra asli dengan citra hasil restorasi:

$$e^2 = E\{ (f - \hat{f})^2 \}$$

- Penapis Wiener memiliki persamaan:

$$H_w(u,v) = \frac{1}{H(u,v)} \frac{|H(u,v)|^2}{|H(u,v)|^2 + S_\eta(u,v) / S_f(u,v)}$$

$H(u,v)$  = fungsi degradasi

$|H(u,v)|^2 = H^*(u,v)H(u,v)$

$H^*(u,v)$  = complex conjugate dari  $H(u,v)$

$S_\eta(u,v)$  = power spectrum dari derau

$S_f(u,v)$  = power spectrum dari citra degradasi



- Jika derau aditif tidak ada ( $N(u,v) = 0$ ), maka

$$H_w(u,v) = \frac{1}{H(u,v)} \Rightarrow \text{the inverse filter}$$

- Jika  $S_n(u,v)$  dan/atau  $S_f(u,v)$  tidak diketahui, maka

$$H_w(u,v) \approx \frac{1}{H(u,v)} \frac{|H(u,v)|^2}{|H(u,v)|^2 + K}$$

some constant

Nilai K dapat di-adjust secara intraktif

- Dengan penapis Wiener, citra restorasi dapat diperoleh dengan mengalikan penapis tersebut dengan citra degradasi:

$$\hat{F}(u,v) = H_w(u,v).G(u,v)$$

# Program Matlab untuk *deblurring* dengan Wiener Filter (deconvwnr)

```
J = deconvwnr(I, PSF, NSR)
```

PSF is the point-spread function with which I was convolved. NSR is the noise-to-signal power ratio of the additive noise. NSR can be a scalar or a spectral-domain array of the same size as I. Specifying 0 for the NSR is equivalent to creating an ideal inverse filter. (Sumber: Matlab)

```
% Baca citra
I = imread('cameraman.bmp');
imshow(I);
% Kaburkan citra dengan motion blur
LEN = 20; THETA = 30;
PSF = fspecial('motion', LEN, THETA);
blurred = imfilter(I, PSF, 'conv', 'circular');
figure, imshow(blurred);
title('Blurred Image');

% Restorasi citra dengan penapis Wiener
wnr1 = deconvwnr(blurred, PSF, 0); %NSR = 0, tidak ada noise aditif
figure, imshow(wnr1); title('Restored Image');
% Hitung selisih antara citra asli dengan citra hasil restorasi
figure; imshow(imabsdiff(I, blurred));
title('Perbedaan citra asli dengan citra restorasi')
```

Hasil run program:

**Original image**



**Blurred Image**



**Restored Image**



**Perbedaan citra asli dengan citra restorasi**



## Jika ada tambahan *noise* pada citra blur:

```
I = im2double(imread('cameraman.bmp'));
imshow(I);
% Kaburkan citra dengan motion blur
LEN = 21; THETA = 11;
PSF = fspecial('motion', LEN, THETA);
blurred = imfilter(I, PSF, 'conv', 'circular');

% Tambahkan derau aditif yaitu derau gaussian
noise_mean = 0;
noise_var = 0.0001;
blurred_noisy = imnoise(blurred, 'gaussian', noise_mean, noise_var);
figure, imshow(blurred_noisy);
title('Blurred Image with noise');

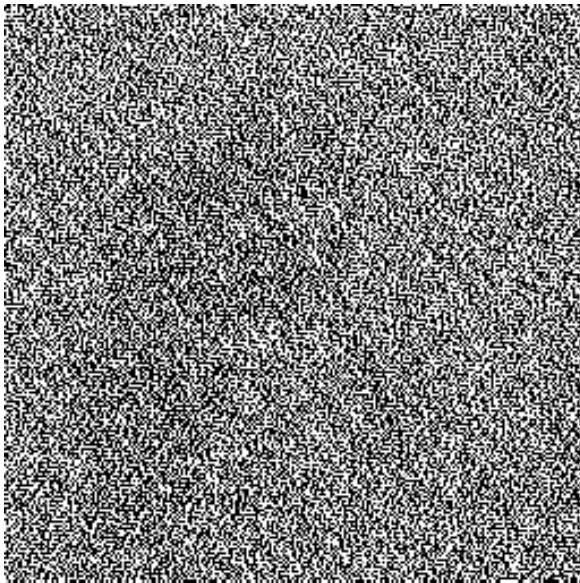
% Restorasi dengan asumsi tanpa ada noise aditif.
estimated_nsr = 0;
wnr2 = deconvwnr(blurred_noisy, PSF, estimated_nsr);
figure, imshow(wnr2)
title('Restoration of Blurred, Noisy Image Using NSR = 0')

% Restorasi dengan asumsi ada derau aditif, estimasi the noise-to-signal-power ratio.
estimated_nsr = noise_var / var(I(:));
wnr3 = deconvwnr(blurred_noisy, PSF, estimated_nsr);
figure, imshow(wnr3)
title('Restoration of Blurred, Noisy Image Using Estimated NSR');
```

**Blurred Image with noise**



**Restoration of Blurred, Noisy Image Using NSR = 0**



**Restoration of Blurred, Noisy Image Using Estimated NSR**





## Program *deblurring* untuk citra berwarna

```
I = imread('peppers512.bmp'); % baca citra
figure; imshow(I); title('Citra Lada asli');

% Kaburkan citra dengan motion blur
LEN = 20; % Panjang blur (satuan: pixel)
TETHA = 45; % 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')
```

Citra Lada asli



Citra terdegradasi (motion blur)



Restored Image



Perbedaan citra asli dengan citra restorasi



# Algoritma Lucky-Richardson

- Algoritma *Lucy-Richardson (L-R)* adalah algoritma restorasi iteratif yang 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 L-R pada mulanya digunakan untuk merestorasi citra astronomi, sebelum akhirnya digunakan juga secara luas untuk merestorasi sembarang citra yang mengalami kekaburan.

- Algoritma L-R memaksimalkan kemungkinan (*maximum likelihood*) bahwa sebuah citra bila dikonvolusi dengan *PSF* hasilnya adalah instansiasi dari citra kabur, dengan mengasumsikan derau tersebut dengan distribusi *Poisson*.
- Distribusi *Poisson* adalah  $p(x) = \frac{e^{-a} a^x}{x!}$  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

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

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

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

$$reflect((PSF(x, y))) = PSF(-x, -y)$$

- $\left( \frac{g}{\hat{f}_n * PSF} \right) * reflect(PSF)$  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



# Program Matlab *deblurring* menggunakan algoritma Lucky-Richardson dengan berbagai jumlah iterasi

```
%baca citra
I = imread('peppers512.bmp');
figure; imshow(I); title('Citra Lada asli');

% Motion-blur kan 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
luc1 = deconvlucy(Blurred, PSF, 5);
figure; imshow(luc1); title('Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 5');
```

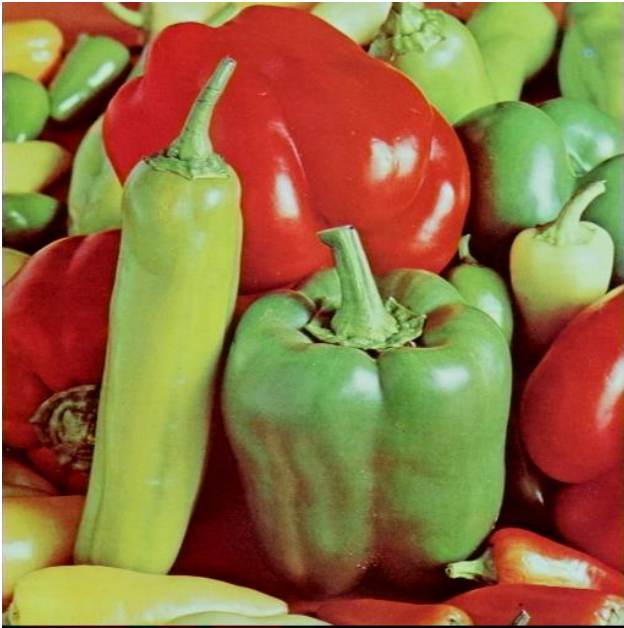
```
% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 10
luc1 = deconvlucy(Blurred, PSF, 10);
figure; imshow(luc1); title('Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 10');

% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 15
luc1 = deconvlucy(Blurred, PSF, 15);
figure; imshow(luc1); title('Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 15');

% Restorasi dengan L-R, jumlah iterasi = 20
luc1 = deconvlucy(Blurred, PSF, 20);
figure; imshow(luc1); title('Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 20');
```

**Hasil run program (setelah slide ini)**

Citra Lada asli



Citra terdegradasi (motion blur)



Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 5



Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 10



Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 15



Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 20



**Citra cameraman asli**



**Citra terdegradasi (motion blur)**



**Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 5**



**Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 10**



**Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 15**



**Citra lada terestorasi, jumlah iterasi = 20**



- Kelemahan algoritma L-R adalah pada jumlah iterasi yang tinggi (seperti diperlihatkan pada gambar dengan jumlah iterasi = 20) dapat memunculkan noda-noda baru yang tidak terdapat pada citra aslinya.
- Noda ini disebut *artifact*. *Artifact* merupakan hasil pengerasan (*noise amplification*) yang meningkat dengan bertambahnya iterasi. *Artifact* tidak terdapat pada citra restorasi hasil penapisan Wiener
- Ini adalah persoalan umum pada semua teknik *maximumlikelihood* (termasuk algoritma *Lucy-Richardson*), yang mencoba mencocokkan data sedekat mungkin dengan citra aslinya.
- Cara yang praktis untuk membatasi pengerasan derau adalah menghentikan iterasi bila citra restorasi muncul dengan derau yang terlalu banyak.

TAMAT