

**RESTORASI DIGITAL CITRA LAMA MENGGUNAKAN
TRANSFORMASI FOURIER DIMENSI DUA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Sains



Oleh:
Caesarany Maqfiroh
NIM 15306141008

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2019

Restorasi Digital Citra Lama Menggunakan Transformasi Fourier Dimensi Dua

Oleh:
Caesarany Maqfiroh
15306141008

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merestorasi citra lama dan mengetahui inti dari proses restorasi citra menggunakan metode transformasi Fourier. Hal ini dilakukan karena citra digunakan sebagai media informasi mengenai silsilah keluarga. Kondisi citra yang sudah lama atau rusak menyebabkan kesulitan untuk memperoleh informasi, sehingga perlu dilakukan restorasi citra.

Restorasi citra pada penelitian ini dilakukan dalam domain frekuensi menggunakan *discrete Fourier transform* dimensi dua. Citra lama (analog) didigitalisasi untuk mendapatkan citra digital, selanjutnya ditransformasikan dari domain spasial ke domain frekuensi. Citra hasil transformasi dikenai proses restorasi, kemudian dilakukan proses *inverse* untuk mendapatkan citra hasil restorasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi Fourier dimensi dua dapat digunakan untuk merestorasi citra. Hal ini ditunjukkan dari citra hasil restorasi yang tampak lebih hitam atau lebih tajam dari citra sebelum direstorasi.

Kata kunci: citra lama, transformasi Fourier, restorasi citra

Old Image Digital Restoration Using Two Dimensional Fourier Transform

Oleh:
Caesarany Maqfiyah
15306141008

ABSTRACT

This research aims to restore the old image and know the essence of the image restoration process using Fourier transform method. This is done because the image is used as a medium of information about family tree. Conditions image is old or damaged causing difficulty in obtaining information, so we need image restoration.

Image restoration in this research was carried out in the frequency domain using a two dimensional discrete Fourier transform. The old image (analog) is digitized to get a digital image, then transformed from the spatial domain to the frequency domain. The transformed image is subjected to the restoration process, then an inverse process is performed to obtain the image of the restoration.

The results showed that the two dimensional Fourier transform can be used to restore the image. This is indicated by the restoration image that appears blacker or sharper than the image before restoration.

Keywords: *old image, Fourier transformation, image restoration*

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Caesarany Maqfiroh
NIM : 15306141008
Program Studi : Fisika
Judul TAS : Restorasi Digital Citra Lama Menggunakan
Transformasi Fourier Dimensi Dua

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta,

Yang menyatakan,

Caesarany Maqfiroh
NIM. 15306141008

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

RESTORASI DIGITAL CITRA LAMA MENGGUNAKAN
TRANSFORMASI FOURIER DIMENSI DUA

Disusun oleh:

Caesarany Maqfiroh
NIM 15306141 008

Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 18-6-2019

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Nur Kadarisman, M.Si.
NIP. 19640205 199101 1 001

Agus Purwanto, M.Sc.
NIP. 19650813 199512 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

**RESTORASI DIGITAL CITRA LAMA MENGGUNAKAN
TRANSFORMASI FOURIER DIMENSI DUA**

Disusun oleh:

Caesarany Maqfiroh
NIM 15306141008

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta dan dinyatakan lulus pada tanggal 26 Juni 2019



Nama/Jabatan

Agus Purwanto, M.Sc. / Ketua Penguji
NIP. 19650813 199512 1 001

Dr. Supardi / Penguji Utama
NIP. 19711015 199802 1 001

Bambang Ruwanto, M.Si. / Penguji Pendamping
NIP. 19651225 199101 1 001

Tanda Tangan

Tanggal

..... 2 - 7 - 2019

..... 27 - 06 - 2019

..... 02 - 07 - 2019

Yogyakarta, 1 - 7 - 2015
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Martoho

NIP. 19620329 198702 1 002

MOTTO

Tindakan adalah dasar dari sebuah keberhasilan

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir Skripsi ini kupersembahkan kepada:

Ibunda tercinta, terima kasih atas limpahan cinta dan doa yang tak berkesudahan.
Terima kasih atas segala dukungan, baik dalam bentuk materi maupun moril dan
skripsi ini sebagai wujud rasa terima kasih saya atas pengorbanan Bunda sehingga
saya dapat meraih cita-cita.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat, rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan judul “**Restorasi Digital Citra Lama Menggunakan Transformasi Fourier Dimensi Dua**” dapat disusun sesuai dengan harapan.

Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. Hartono, M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan banyak kemudahan dan fasilitas selama melakukan studi.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin penelitian tugas akhir skripsi ini.
3. Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
4. Agus Purwanto, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing skripsi yang senantiasa memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pengarahan, ilmu, kritik dan saran yang sangat membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Dr. Ariswan, selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan dan motivasi.
6. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan yang akan menjadi bekal yang sangat bermanfaat.
7. Teman-teman Fisika 2015 yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
8. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik yang membangun akan diterima dengan senang hati untuk perbaikan lebih lanjut. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan dunia pendidikan.

Yogyakarta, 18 Juni 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
MOTTO	vii
PERSEMBERAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah	3
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	4

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Fotografi.....	5
B. Kerusakan Foto.....	6
C. Citra Digital.....	7
D. Citra Warna.....	8
E. Citra <i>Grayscale</i>	9
F. Format File Pada Citra.....	9

G. Pengolahan Citra Digital.....	10
H. Restorasi Citra (<i>Image Restoration</i>).....	11
I. Transformasi Citra.....	12
J. Restorasi Citra Domain Frekuensi.....	18
K. Restorasi Citra Domain Spasial.....	18
 BAB III METODE PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
B. Objek Penelitian	21
C. Alat dan Program Analisis.....	21
D. Teknik Analisis Data.....	21
E. Algoritma dan Diagram Alir.....	22
F. Tahap Penelitian.....	23
 BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
A. Pengolahan Citra Digital.....	25
B. Restorasi Citra Domain Frekuensi.....	26
C. Restorasi Citra Domain Spasial.....	32
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	35
B. Saran.....	35
 DAFTAR PUSTAKA	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai $T(u, v)$ Bagian Real Sebelum dan Sesudah Restorasi.....	28
Tabel 4.2	Nilai $T(u, v)$ Bagian Imaginer Sebelum dan Sesudah Restorasi...	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses digitalisasi citra.....	8
Gambar 2.2	Citra warna.....	9
Gambar 2.3	Citra <i>grayscale</i>	9
Gambar 2.4	Model proses degradasi dan restorasi citra.....	12
Gambar 2.5	Susunan nilai <i>pixel</i> pada citra.....	13
Gambar 2.6	Gambaran umum operasi transformasi domain linier.....	14
Gambar 2.7	Citra berwarna ukuran 63×51	15
Gambar 2.8	Citra warna berukuran 63×51 dalam bentuk <i>grayscale</i>	16
Gambar 2.9	Histogram nilai <i>pixel</i> sebagai fungsi posisi.....	16
Gambar 2.10	Bagian real hasil transformasi Fourier dimensi dua dalam bentuk histogram.....	17
Gambar 2.11	Bagian imajiner hasil transformasi Fourier dimensi dua dalam bentuk histogram.....	17
Gambar 2.12	Citra <i>grayscale</i> yang mengalami <i>noise</i>	18
Gambar 2.13	Citra hasil restorasi domain spasial.....	19
Gambar 4.1	Citra yang mengalami kerusakan.....	26
Gambar 4.2	Citra hasil restorasi domain frekuensi.....	15
Gambar 4.3	Bagian yang sudah direstorasi.....	32
Gambar 4.4	Perbandingan citra sebelum dan sesudah restorasi dalam domain frekuensi.....	32

Gambar 4.5	Citra hasil restorasi domain spasial.....	33
Gambar 4.6	Perbandingan nilai intensitas <i>pixel</i> sebelum dan sesudah restorasi dalam domain spasial.....	34

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dunia fotografi mengalami perkembangan yang cukup pesat sejak awal ditemukan hingga saat ini. Orang-orang memanfaatkan teknologi fotografi untuk mengabadikan berbagai gambar kemudian mencetak hasilnya untuk dijadikan koleksi pribadi maupun untuk kepentingan tertentu. Menurut Hermawan Nuradi (2012:18), foto memiliki nilai-nilai yang sangat berharga bagi pemiliknya, seperti halnya kandungan nilai sejarah, kandungan nilai informasi, ataupun nilai budaya. Salah satu contoh foto yang memiliki nilai-nilai berharga adalah foto keluarga. Foto keluarga dapat menjadi salah satu bukti atau sumber rujukan dalam menelusuri sejarah dan silsilah keturunan suatu keluarga (*genealogy*).

Pada saat ini, informasi yang diperoleh dari fotografi tidak hanya disajikan pada sebuah kertas tetapi juga dapat disajikan dalam bentuk digital. Informasi yang disajikan dalam bentuk digital dapat disebarluaskan dengan lebih mudah dan tidak termakan oleh usia dibandingkan informasi yang disajikan dalam bentuk teks.

Hasil cetakan foto memiliki ketahanan fisik yang terbatas seiring dengan bertambahnya waktu. Hasil cetakan citra (foto) yang sudah lama akan mengalami kerusakan seperti sobek, timbulnya jamur, pudarnya warna pada citra (foto). Kerusakan pada citra (foto) lama dapat disebabkan oleh kualitas bahan kertas, suhu, dan bencana.

Pengolahan citra digital adalah suatu teknik untuk memperbaiki kualitas sebuah citra agar dapat diperoleh informasi dari citra tersebut. Depi Siti Nurjanah (2016:1-2) mengemukakan, pengolahan citra digital merupakan pemrosesan gambar dimensi dua melalui komputer digital. Pengolahan citra adalah istilah umum untuk berbagai teknik yang keberadaannya untuk

memanipulasi dan memodifikasi citra dengan berbagai cara. Secara umum pengolahan citra adalah proses yang bertujuan untuk memanipulasi dan menganalisis citra dengan bantuan komputer, baik citra berdimensi dua maupun citra berdimensi tiga. Pengolahan citra merupakan salah satu hal yang mendasari berbagai aplikasi nyata, seperti pengenalan pola, penginderaan jauh dan *machine vision*.

Restorasi citra (pembangunan kembali) perlu dilakukan untuk mempermudah memperoleh informasi dari citra (foto) lama tersebut dengan memanfaatkan komputer dan informasi. Restorasi citra dilakukan dengan melakukan proses digitalisasi citra lama dengan cara dipindai (*scan*) menggunakan *scanner* atau mengambil gambar citra lama menggunakan kamera digital.

Dengan memanfaatkan teknologi pengolahan citra digital, hasil digitalisasi citra lama diperbaiki menggunakan teknik restorasi citra agar citra lama tersebut dapat diinterpretasikan sesuai dengan citra aslinya. Menurut Gonzales and Woods (2008:311), restorasi citra berupaya untuk merekonstruksi atau mendapatkan kembali suatu citra yang sudah mengalami penurunan kualitas menggunakan pengetahuan tentang fenomena degradasi. Teknik restorasi citra memodelkan degradasi dan menerapkan proses *invers* untuk memulihkan citra asli. Salah satu teknik restorasi citra adalah dengan melakukan analisis pada citra dalam domain frekuensi menggunakan metode transformasi Fourier.

Transformasi Fourier merupakan transformasi yang paling penting digunakan dalam bidang pengolahan citra digital. Pada umumnya, sinyal pada fungsi citra dinyatakan dalam bentuk plot amplitudo versus posisi spasial. Namun, pada beberapa aplikasi pengolahan citra digital terdapat kesulitan melakukan operasi fungsi dalam ruang yang sama (domain spasial). Maka, operasi fungsi harus dilakukan melalui transformasi ruang.

Transformasi Fourier merupakan proses perubahan citra ruang spasial ke ruang frekuensi. Untuk mengubah fungsi dari ruang frekuensi ke ruang spasial digunakan *inverse Fourier Transform*. Di dalam pengolahan citra digital,

transformasi Fourier digunakan untuk menganalisis frekuensi pada operasi seperti perbaikan kualitas citra, perekaman citra, restorasi citra dan lain-lain.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Kesulitan melakukan interpretasi citra lama karena penurunan kualitas dari citra lama seperti timbulnya jamur pada kertas citra (foto) lama.
2. Perlu dilakukan restorasi citra (foto) lama agar seseorang dapat meneruskan informasi dari orang terdahulu kepada penerusnya.
3. Perlu pemahaman yang mendasar tentang restorasi citra menggunakan metode transformasi Fourier.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, maka batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah citra lama berupa citra wajah yang sudah mengalami kerusakan yang diperoleh dari koleksi foto keluarga.
2. Proses digitalisasi citra dilakukan dengan proses memindai (*scan*) menggunakan *scanner*.
3. Proses restorasi citra dilakukan dengan menggunakan metode transformasi Fourier.
4. *Software* yang digunakan untuk melakukan restorasi citra lama adalah MATLAB R2013a.

D. Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah yang akan dijadikan fokus pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara melakukan restorasi digital pada citra lama (rusak) menggunakan metode transformasi Fourier?

2. Apa yang menjadi inti dari proses restorasi citra menggunakan metode transformasi Fourier?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan restorasi citra (foto) menggunakan metode transformasi Fourier.
2. Mengetahui inti dari proses restorasi citra menggunakan metode transformasi Fourier.

F. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengimplementasikan metode transformasi Fourier untuk merestorasi citra yang sudah lama dan rusak.
2. Mengetahui esensi dari restorasi citra digital menggunakan metode transformasi Fourier.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Fotografi

Fotografi berasal dari Bahasa Yunani “*Photos*” yang berarti cahaya dan “*Graphos*” yang berarti melukis, artinya fotografi adalah kegiatan “melukis dengan cahaya”. Pada umumnya, fotografi adalah suatu cara untuk menghasilkan sebuah gambar dari suatu objek dengan cara merekam pantulan cahaya dari objek tersebut menggunakan sebuah kamera. Hermawan Nuradi (2012:22) mengutip dari Clark (1999) mengungkapkan bahwa *photography* secara resmi ditemukan pada tahun 1839 berdasarkan pengumuman kepada publik mengenai proses *daguerreotype* oleh Louis Jacques Mande Daguerre di Perancis dan proses gambar fotogenik oleh William Henry Fox Talbot di Inggris.

Saat ini, masyarakat tidak bisa lepas dengan kegiatan fotografi. Foto menjadi salah satu media komunikasi paling banyak digunakan karena dengan foto seseorang dapat menyampaikan dan menerima informasi dengan mudah. Foto dapat dijadikan sebagai media untuk menyampaikan pesan kepada orang lain. Biasanya fotografi digunakan sebagai sarana untuk mendokumentasikan suatu peristiwa penting.

Menurut Ardy Fauzi Ridwan (2017:1) mengutip dari Seno Gumira Ajidarma (2003), fotografi tidak menampilkan realitas apa yang terdapat dalam sebuah foto melainkan bagaimana sebuah foto berperan dalam realitas. Foto menjadi bagian dari realitas yang dikenal dan dihayati oleh kita, karena realitas memang tampil kepada manusia sebagai representasi. Dari sebuah foto manusia dapat merepresentasikan apa yang dilihat dan kemudian mendapatkan informasi.

Foto juga dapat digunakan sebagai media informasi dari generasi ke generasi, misalnya mengenai silsilah keluarga. Seseorang dapat mengetahui siapa pendahulunya melalui sebuah foto, dan kemudian foto tersebut diwariskan kepada generasi berikutnya.

B. Kerusakan Foto

Seiring berjalananya waktu foto yang disimpan cukup lama akan mengalami degradasi kualitas. Kerusakan foto yang sering dijumpai biasanya adanya bercak jamur pada foto, sobek dan memudarnya warna. Hal tersebut dapat terjadi karena faktor suhu, kelembaban dan cahaya.

Hermawan Nuradi (2012:25) mengutip dari Hendriks (1984) mengemukakan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi ketahanan suatu bahan fotografi sebagai berikut:

1. Kelembaban relatif

Kelembaban relatif didefinisikan sebagai rasio dari kelembaban mutlak pada udara yang diukur terhadap udara jenuh dengan air pada suhu yang sama.

$$\text{kelembaban relatif} = \frac{\text{kelembaban mutlak dari udara yang diukur}}{\text{kelembaban mutlak dari udara jenuh}} \times 100\%$$

Pengendalian kelembaban relatif diketahui sebagai pengendali laju reaksi menguning pada hasil cetakan foto. Kelembaban relatif merupakan salah satu faktor lingkungan yang harus dikontrol karena akan berdampak pada fisik bahan. Selain itu, adanya uap lembab yang merupakan katalis dapat menyebabkan *foxing*, kertas yang saling menempel, menguning dan tumbuh jamur.

2. Suhu

Pengaruh suhu penyimpanan yang tinggi (di atas 30°C) pada foto akan menimbulkan dampak buruk. Laju reaksi kimia menjadi dua kali lipat jika suhu reaksi dinaikkan sekitar 10°C. Sebaliknya, jika suhu penyimpanan rendah menyebabkan penurunan yang cukup besar dalam laju reaksi kerusakan, sehingga bermanfaat bagi pelestarian jangka panjang foto.

3. Reaksi Kimia

Zat kimia dapat mengoksidasi gambar berbahan perak pada foto, di antaranya *peroxides*, *ozone*, *sulfur oxides* dan *nitrogen oxide*. Perak memiliki gaya tarik-menarik yang kuat untuk beberapa jenis bahan mengandung sulfur. Sisa pengolahan senyawa juga dapat mengandung sulfur dari bahan kimia tertentu yang dapat berdampak pada ketahanan foto. Selain itu, media penyimpanan foto yang terbuat dari bahan kimia yang tidak stabil juga dapat berpengaruh terhadap film atau kertas yang tersimpan di dalamnya karena kontak erat antara foto dan tempat penyimpanan tersebut.

4. Penyinaran

Beberapa hasil pemrosesan foto sensitif terhadap cahaya. Biasanya foto berwarna sangat rentan terhadap cahaya yang dapat menyebabkan pemudaran.

C. Citra Digital

Pada dasarnya citra digital merupakan sinyal dimensi dua (2D) yang merupakan wujud dimensi dua (2D) dari objek dimensi tiga (3D) secara digital. Ada kemiripan arti antara “gambar” dengan “citra”, namun dapat dibedakan bahwa gambar adalah wujud analog dari citra (Qidwai and Chen, 2009:2). Citra adalah fungsi dari dua variabel $f(x, y)$ dengan f sebagai intensitas citra pada posisi (x, y) . Ketika x, y , dan nilai-nilai intensitas f diketahui dan dalam nilai diskrit maka disebut citra digital (Gonzales and Woods, 2008:1).

Citra digital $f(m n)$ dalam ruang diskrit dimensi dua (2D) diperoleh dari citra analog $f(x, y)$ dalam ruang kontinu dimensi dua (2D) melalui proses pengambilan sampel yang disebut digitalisasi citra (Qidwai and Chen, 2009:2). Citra digital terdiri dari elemen-elemen yang memiliki lokasi dan nilai tertentu (Gonzales and Woods, 2008:1-2).



Gambar 2.1 Proses digitalisasi citra

Citra kontinu dimensi dua (2D) $f(m, n)$ dibagi menjadi N baris dan M kolom. Perpotongan antara baris dan kolom disebut *pixel* (*pixel* = *picture element*). *Pixel* adalah elemen terkecil dari sebuah citra. *Pixel* memiliki dua parameter, yaitu koordinat dan intensitas dari *pixel* itu di titik tertentu. Nilai yang ditetapkan ke dalam koordinat bilangan bulat $[m \ n]$ dengan $\{m = 1, 2, \dots, M\}$ dan $\{n = 1, 2, \dots, N\}$ adalah $f [m \ n]$. Citra digital dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut,

D. Citra Warna

Citra warna memiliki warna yang terdiri dari tiga kombinasi warna dasar ($RGB = red, green, blue$) pada setiap *pixelnya*. Setiap warna dasar memiliki gradasi sebanyak 255 warna dan memerlukan penyimpanan 8 bit. Setiap satu pixel citra warna diwakili oleh tiga byte, masing-masing menampilkan warna *Red* (Merah), *Green* (Hijau), *Blue* (Biru). Delapan bit pertama untuk warna biru, delapan bit kedua untuk warna hijau dan delapan bit ketiga untuk warna merah. Kemungkinan warna yang dapat dihasilkan adalah $255 \times 255 \times 255 = 16.581.375$ warna. Kemungkinan warna yang dihasilkan ini sudah cukup untuk memvisualisasikan warna yang dapat dilihat oleh manusia.



Gambar 2.2 Citra warna

E. Citra *Grayscale*

Citra *grayscale* hanya memiliki gradasi warna hitam dan putih yang menghasilkan warna keabuan. Citra *grayscale* memiliki intensitas antara 0-255, nilai 0 untuk menyatakan warna hitam dan nilai 255 menyatakan nilai putih. Setiap 256 gradasi warna pada citra *grayscale* diwakili oleh 1 *byte* pada setiap *pixelnya*.



Gambar 2.3 Citra *grayscale*

F. Format File Pada Citra

Format file pada citra memiliki tugas menyatukan kualitas citra, ukuran file dan kompatibilitas dengan berbagai aplikasi. Format file citra yang sering

dijumpai antara lain *bitmap* (.bmp), *tagged image format* (.tif), *Portable Network Graphics* (.png), *JPEG* (.jpg), dan lain-lain. Darma Putra (2010:58) menyatakan bahwa setiap format file citra memiliki karakteristiknya masing-masing. Berikut adalah penjelasan dari beberapa format file citra :

1. Format Bitmap (.bmp)

Format bitmap (.bmp) adalah format penyimpanan standar untuk *Microsoft Windows* yang dapat digunakan untuk menyimpan citra biner sampai citra warna. Format bitmap (.bmp) terdiri dari beberapa jenis dan setiap jenisnya ditentukan dengan jumlah bit yang digunakan untuk menyimpan sebuah nilai *pixel* (Darma Putra, 2010:58).

2. Format JPEG (.jpg)

JPEG adalah algoritma standar untuk mengkompres gambar seperti file (.bmp) atau file (.tiff). Algoritma ini mengubah nilai pixel gambar menggunakan transformasi matematis dan mendefinisikan kembali alokasi bit dan struktur dalam gambar.

3. Format Tagged Image (.tif, .tiff)

Format file ini merupakan format penyimpanan citra yang dapat digunakan untuk menyimpan citra bitmap sampai citra dengan warna palet terkompresi. Format file (.tif, .tiff) dapat digunakan untuk menyimpan citra yang tidak terkompresi dan citra terkompresi (Darma Putra, 2010:58).

G. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital merupakan ilmu yang mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan perbaikan kualitas citra. Perbaikan kualitas citra ini bertujuan untuk mempermudah mata manusia menginterpretasikan informasi dari citra yang dilihat. Pengolahan citra digital dapat dikelompokkan menjadi lima bagian yaitu perbaikan kualitas citra (*image enhancement*), restorasi citra (*image restoration*), kompresi citra (*image compression*), analisis citra (*image analysis*), dan perpaduan citra (*image synthesis*).

Perbaikan kualitas citra (*image enhancement*) digunakan untuk meningkatkan kualitas citra atau melakukan konversi citra agar memiliki format

yang lebih baik sehingga citra dapat diolah dengan komputer secara lebih mudah.

Restorasi citra (*image restoration*) merupakan teknik untuk mengembalikan citra seperti semula yang mengalami penurunan kualitas. Menurut Sutoyo *et al* (2009:99) mengutip dari Pitas (1993), restorasi citra digital adalah suatu teknik yang memperhatikan bagaimana mengurangi perubahan bentuk dan penurunan kualitas citra.

Kompresi citra (*image compression*) bertujuan untuk meminimalkan kebutuhan memori dalam merepresentasikan citra digital dengan mengurangi duplikasi data di dalam citra sehingga memori yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit daripada representasi citra semula (Sutoyo *et al*, 2009:165).

Analisis citra (*image analysis*) ialah operasi pada pengolahan citra digital yang menyajikan informasi numerik atau grafis berdasarkan karakteristik citra asli dan citra statistik. Pada operasi ini citra dipecah menjadi bagian-bagian diskrit kemudian dikenai beberapa proses pengukuran seperti ekstraksi dan deskripsi fitur citra.

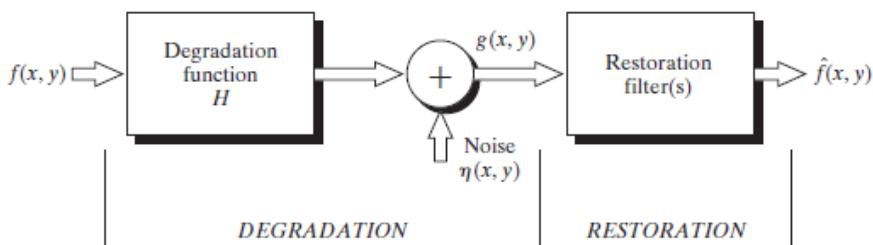
H. Restorasi Citra (*Image Restoration*)

Citra analog yang sudah lama akan mengalami penurunan kualitas seiring berjalannya waktu. Penurunan kualitas yang terjadi seperti timbulnya jamur, pemudaran warna dan objek menjadi kabur. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor suhu tempat penyimpanan, cahaya, kelembaban, dan terjadinya reaksi kimia. Untuk mengatasi masalah ini, maka perlu dilakukan restorasi citra.

Tujuan utama restorasi citra adalah untuk meningkatkan kualitas gambar. Ini menunjukkan adanya kesamaan makna dengan *image enhancement*. Di sini dapat dibedakan bahwa *image enhancement* merupakan proses yang subjektif, sedangkan *image restoration* ialah proses yang objektif. Menurut Sutoyo *et al* (2009:99), *image enhancement* lebih memperhatikan perbaikan kualitas citra yang mengalami penurunan kualitas selama pembentukan citra atau memberi efek berlebih pada citra yang sudah ada. Sedangkan, *image restoration* menitikberatkan pada perbaikan citra yang mengalami kerusakan, baik selama

proses digitalisasi maupun cacat akibat usia, jamur, goresan, pelabelan teks pada citra baik disengaja maupun tidak disengaja. Restorasi citra berorientasi pada pemodelan degradasi dan menerapkan proses *invers* untuk memulihkan citra asli (Gonzales and Wood, 2008:311).

Model proses degradasi atau restorasi citra ditunjukkan seperti pada Gambar 4, yang menunjukkan proses degradasi dimodelkan sebagai fungsi degradasi bersama dengan *noise*, beroperasi pada citra input $f(x, y)$ untuk menghasilkan citra yang terdegradasi $g(x, y)$. Jika fungsi citra terdegradasi $g(x, y)$, fungsi degradasi H dan *additive noise* $\eta(x, y)$, maka tujuan dari restorasi adalah untuk memperoleh nilai $\hat{f}(x, y)$ dari citra asli (Gonzales and Wood, 2008:312).



Gambar 2.4 Model proses degradasi dan restorasi citra
(Gonzales and Wood, 2008:312)

Jika H adalah proses linier, posisi *invariant* maka citra terdegradasi dalam domain spasial ditunjukkan oleh

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + \eta(x, y) \dots \dots \dots (2)$$

dimana $h(x, y)$ adalah representasi spasial dari fungsi degradasi.

I. Transformasi Citra

Pengolahan citra pada umumnya dilakukan pada nilai pixel dari citra masukan, yang bekerja pada domain spasial. Pada beberapa kasus, pengolahan citra dilakukan dengan melakukan transformasi pada citra masukan, menentukan domain transformasi, dan melakukan *inverse transform* untuk kembali ke domain spasial.

Transformasi citra dibedakan menjadi dua yaitu transformasi spasial dan transformasi domain (Sutoyo *et al*, 2009:115).

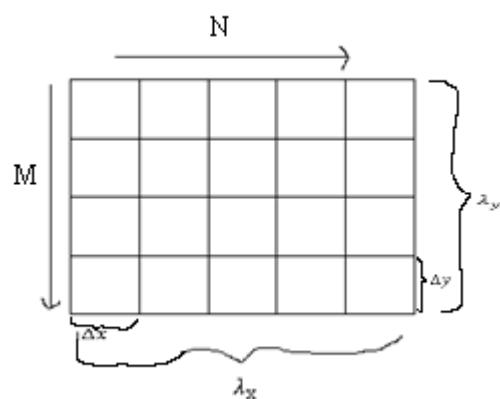
Transformasi spasial ialah transformasi citra yang mengubah nilai intensitas *pixel* atau posisi *pixel*. Sedangkan transformasi domain ialah transformasi citra yang mengubah citra dari satu domain ke domain lainnya, misalnya dari domain spasial ke domain frekuensi.

Transformasi Fourier merupakan transformasi yang mengubah citra dari domain spasial ke domain frekuensi. Citra digital ditransformasikan terlebih dahulu menggunakan transformasi Fourier, kemudian mengubah nilai pada hasil transformasi Fourier tersebut dan selanjutnya dilakukan *invers* transformasi Fourier untuk mengembalikan citra (Sutoyo *et al*, 2009:115).

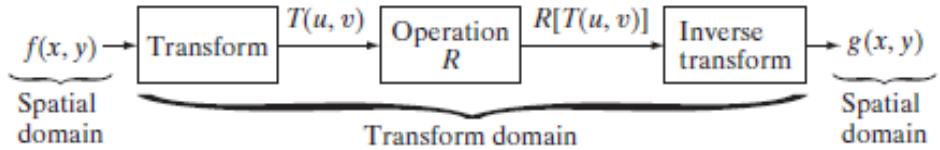
Transformasi linier dimensi dua yang dinotasikan sebagai $T(u, v)$, dapat dituliskan dalam bentuk umum

dimana $f(x, y)$ adalah citra masukan, $r(x, y, u, v)$ adalah *forward transformation kernel*, dan $u = 1, 2, 3, \dots, N$ dan $v = 1, 2, 3, \dots, M$. x dan y adalah variabel spasial, serta N dan M adalah jumlah baris dan kolom dari f . Variabel u dan v disebut variabel transformasi. $T(u, v)$ disebut transformasi dari $f(x, y)$.

Susunan nilai pixel pada citra dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Susunan nilai *pixel* pada citra



Gambar 2.6 Gambaran umum operasi transformasi domain linier.

(Gonzales and Wood, 2008:94)

Setelah memperoleh nilai dari $T(u, v)$, $f(x, y)$ dapat diperoleh kembali menggunakan *inverse transform* dari $T(u, v)$,

$$f(x, y) = \sum_{u=1}^N \sum_{v=1}^M T(u, v) s(x, y, u, v) \dots \quad (4)$$

dengan $x = 1, 2, 3, \dots, N$ dan $y = 1, 2, 3, \dots, M$, dimana $s(x, y, u, v)$ disebut *inverse transformation kernel*. Persamaan (3) dan (4) disebut *transform pair*.

Kernel transformasi dikatakan *separable* jika

$$r(x, y, u, v) = r_1(x, u)r_2(y, v) \dots \quad (5)$$

Kernel dikatakan simetri jika $r_1(x, u)$ secara fungsi sama dengan $r_2(y, v)$.

Dari Gambar 5 besarnya nilai λ_x dan λ_y adalah sebagai berikut,

$$\lambda_x = N\Delta x \dots \quad (6)$$

$$\lambda_y = M\Delta y \dots \quad (7)$$

dengan,

λ_x = panjang nilai *pixel* ke arah x

λ_y = panjang nilai *pixel* ke arah y

Δx = interval panjang atau panjang satu *pixel* ke arah x

Δy = interval panjang atau panjang satu *pixel* ke arah y

Transformasi Fourier dimensi dua dituliskan sebagai

$$T(u, v) = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M f(x \Delta x, y \Delta y) e^{-j(\frac{u x \Delta x}{N \Delta x} + \frac{v y \Delta y}{M \Delta y})} \dots \quad (8)$$

$$T(u, v) = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M f(x \Delta x, y \Delta y) e^{-j(\frac{u x}{N} + \frac{v y}{M})} \dots \quad (9)$$

Kernel transformasi Fourier dimensi dua dan inversnya adalah sebagai berikut:

$$r(x, y, u, v) = e^{-j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})} \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

dan

Karena $j = \sqrt{-1}$, maka *kernel* adalah fungsi kompleks. Substitusi persamaan (11) ke persamaan (4) menghasilkan *discrete Fourier transform pair*:

$$T(u, v) = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})} \dots \quad (12)$$

dan

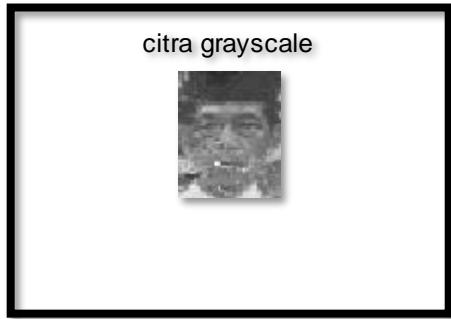
$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=1}^M \sum_{v=1}^N T(u, v) e^{j2\pi(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M})} \dots \dots \dots (13)$$

Penerapan *discrete Fourier transform* pada citra dijelaskan berikut ini. Gambar 2.7 adalah citra berwarna dengan ukuran 51×63 .



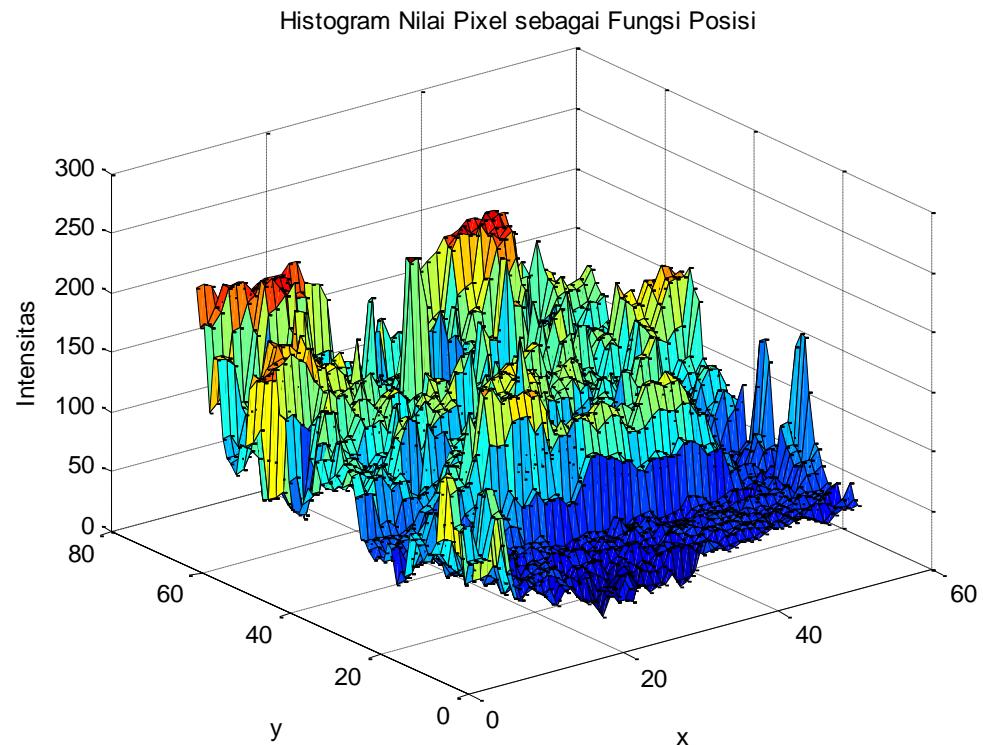
Gambar 2.7 Citra berwarna berukuran 51×63

Jika ditampilkan dalam bentuk citra *grayscale*, Gambar 7 berubah menjadi Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Citra warna berukuran 51×63 dalam bentuk *grayscale*

Jika nilai pixel *grayscale* ditampilkan dalam bentuk histogram, hasilnya adalah sebagai berikut

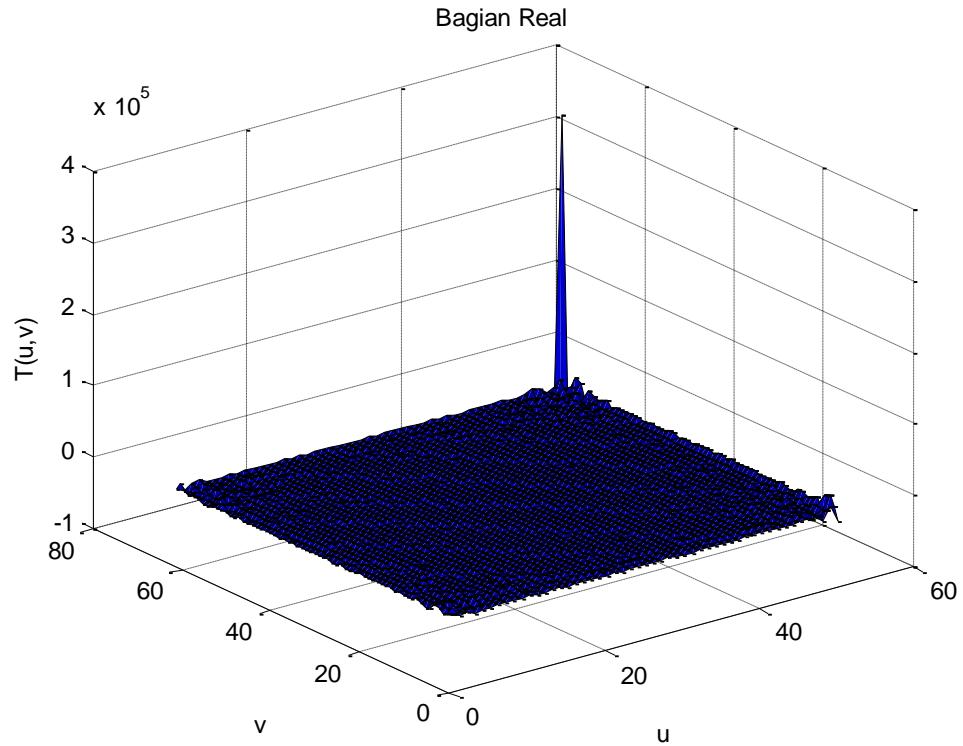


Gambar 2.9 Histogram nilai *pixel* sebagai fungsi posisi

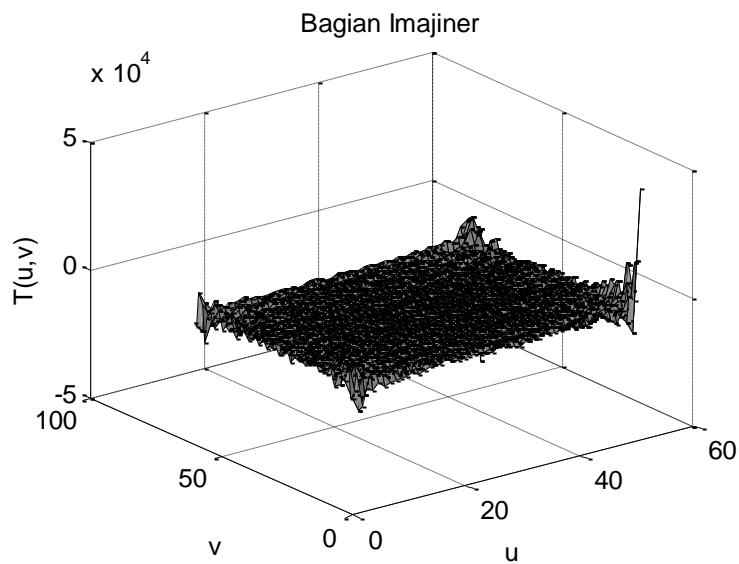
Transformasi Fourier diskrit dimensi dua dari citra di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T(u, v) = \sum_{x=1}^{51} \sum_{y=1}^{63} f(x, y) e^{-j2\pi(\frac{ux}{51} + \frac{vy}{63})} \dots \quad (14)$$

Hasil transformasi Fourier dimensi dua dalam bentuk histogram adalah sebagai berikut



Gambar 2.10 Bagian real hasil transformasi Fourier dimensi dua dalam bentuk histogram



Gambar 2.11 Bagian imaginer hasil transformasi Fourier dimensi dua dalam bentuk histogram

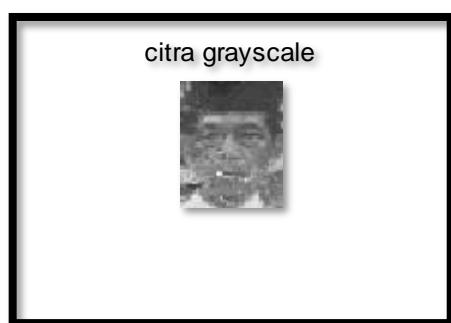
J. Restorasi Citra Domain Frekuensi

Dalam domain spasial, perbaikan citra digital yang terdapat *noise* dilakukan dengan mengubah beberapa nilai *pixel* pada citra tersebut. Namun, ada beberapa masalah yang sulit dilakukan dengan menggunakan domain spasial, yaitu citra yang memiliki *noise* dalam ruang frekuensi. Cara menghilangkan *noise* pada ruang frekuensi dilakukan dengan mentransformasikan citra menggunakan transformasi Fourier, kemudian melakukan restorasi citra dengan mengubah nilai transformasi Fourier pada frekuensi yang terdegradasi sesuai dengan nilai rata-rata di sekitarnya. Selanjutnya, melakukan *invers* transformasi Fourier untuk mendapatkan citra kembali (Sutoyo *et al*, 2009:131)

K. Restorasi Citra Domain Spasial

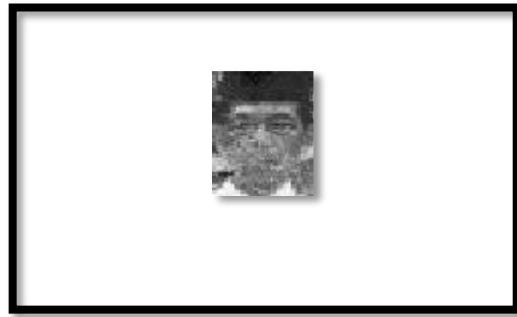
Transformasi spasial ialah transformasi citra yang mengubah nilai intensitas *pixel* atau posisi *pixel*. Dalam domain spasial, perbaikan citra digital yang terdapat *noise* dilakukan dengan mengubah nilai *pixel* pada citra tersebut.

Citra *grayscale* yang mengalami noise ditunjukkan seperti pada Gambar 12.



Gambar 2.12 Citra *grayscale* yang mengalami *noise*

Selanjutnya dilakukan proses restorasi citra dengan mengubah beberapa nilai *pixel* pada citra tersebut dan diperoleh hasil seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Citra hasil restorasi domain spasial

L. MATLAB

MATLAB adalah singkatan dari MATrix LABoratory yang merupakan perangkat lunak untuk mengembangkan algoritma rekayasa dan aplikasi simulasi. MATLAB dikomersialisasikan pada tahun 1984 oleh The MathWorks Inc. (Natick, MA). Sejak saat itu MATLAB mengalami perluasan dan telah menjadi standar *de facto* untuk perhitungan ilmiah, rekayasa, visualisasi dan simulasi yang dirancang dengan dukungan operasi matriks. Fungsi bawaan MATLAB dan m-file yang disediakan didasarkan pada pustaka standar LINPACK dan EISPACK. Nama file program MATLAB selalu diakhiri dengan “.m”. Bahasa pemrograman MATLAB juga mudah karena setiap objek data diasumsikan sebagai *array*. Output grafis juga tersedia untuk melengkapi hasil numerik.

Ada sejumlah file bantuan lain yang mengelilingi inti MATLAB ini, dan file-file ini termasuk dokumentasi bantuan, kompiler untuk mengonversi file MATLAB ke C atau JAVA, dan beberapa pustaka yang bergantung pada sistem operasi lainnya. MathWorks juga meningkatkan kekuatan MATLAB dengan memperkenalkan perangkat lunak atau mesin sejenis seperti SIMULINK® dan *Real-Time Workshop*. MATLAB juga dilengkapi dengan fungsi khusus yang disebut *toolbox*, yang mencakup fungsi khusus dan file terkait untuk melakukan operasi tingkat tinggi sesuai bidang tertentu. Beberapa contoh toolbox MATLAB antara lain *Images*, *Signal*, *Comm*, *Control*, *Imaq*, *Fuzzy*, *Ident*, *Nnet*, *Stats*, dan *Wavelet*.

MATLAB digunakan untuk pengolahan citra karena MATLAB optimal untuk operasi matriks. Citra tersusun dari seperangkat nilai yang diatur dalam bentuk matriks sehingga pengolahan citra masuk akal jika menggunakan MATLAB. Alasan lain menggunakan MATLAB untuk pengolahan citra adalah singkatnya kode di dalam MATLAB.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2018 sampai dengan bulan Mei 2019.

B. Objek Penelitian

Objek penelitian merupakan citra wajah yang sudah mengalami kerusakan. Ukuran citra wajah dalam penelitian ini adalah 51×63 pixel, berformat file jpg, dan merupakan citra *grayscale*. Objek penelitian diperoleh dari koleksi foto pribadi penulis.

C. Alat dan Program Analisis

1. Perangkat keras yang digunakan adalah satu perangkat laptop Toshiba C55T dengan spesifikasi *processor* Intel® Core™ i3, RAM 4 GB. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah MATLAB R2013a.
2. Program analisis yang digunakan:
 - a. Program *discrete Fourier transform* dimensi dua yang dibuat oleh penulis menggunakan MATLAB R2013a
 - b. Program *inverse discrete Fourier transform* dimensi dua yang dibuat oleh penulis menggunakan MATLAB R2013a

D. Teknik Analisis Data

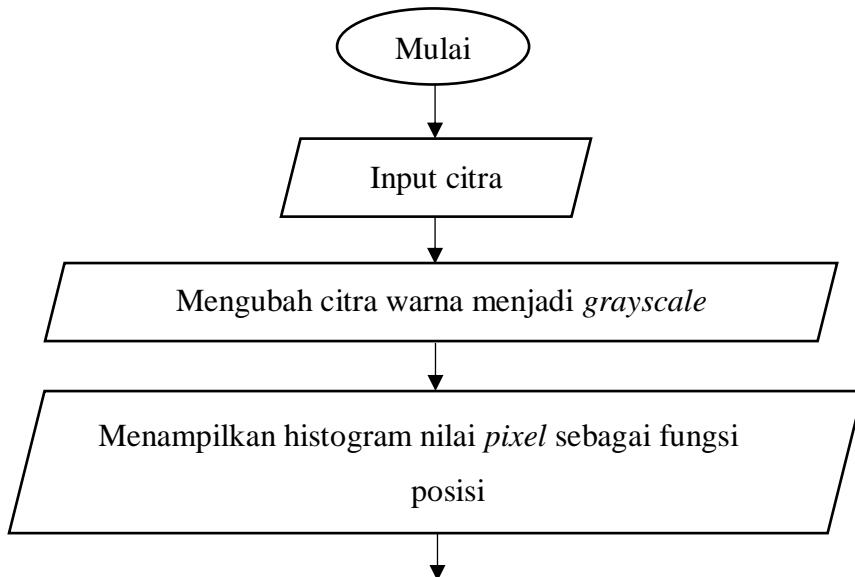
Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengubah-ubah nilai pada bagian real dan imajiner dari hasil transformasi Fourier dimensi dua. Nilai yang diubah adalah nilai yang diduga merupakan *noise* pada citra.

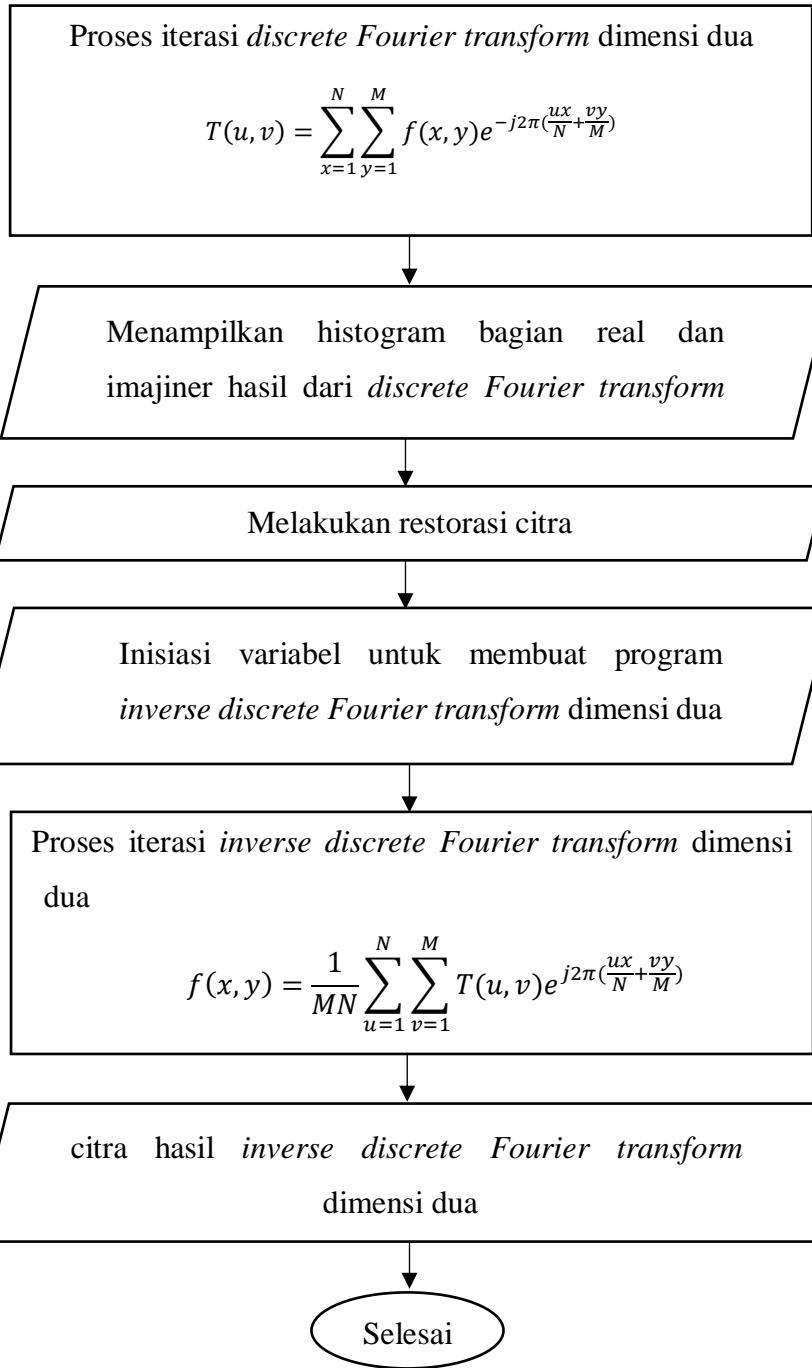
Pengubahan nilai dilakukan berdasarkan rerata tetangga dari nilai hasil transformasi Fourier. Selanjutnya melakukan proses *inverse* untuk mendapatkan citra seperti semula sebelum mengalami *noise* atau kerusakan.

E. Algoritma dan Diagram Alir

1. Algoritma Program *Discrete Fourier Transform* Dimensi Dua
 - a. Input citra yang akan digunakan dalam program
 - b. Mengubah citra warna menjadi citra *grayscale*
 - c. Menampilkan histogram nilai *pixel* sebagai fungsi posisi
 - d. Proses iterasi *discrete Fourier transform* dimensi dua
 - e. Menampilkan histogram bagian real dan imajiner hasil dari *discrete Fourier transform* dimensi dua
 - f. Inisiasi variabel untuk membuat program *inverse discrete Fourier transform* dimensi dua
 - g. Proses iterasi *inverse discrete Fourier transform* dimensi dua
 - h. Menampilkan citra hasil *inverse discrete Fourier transform* dimensi dua

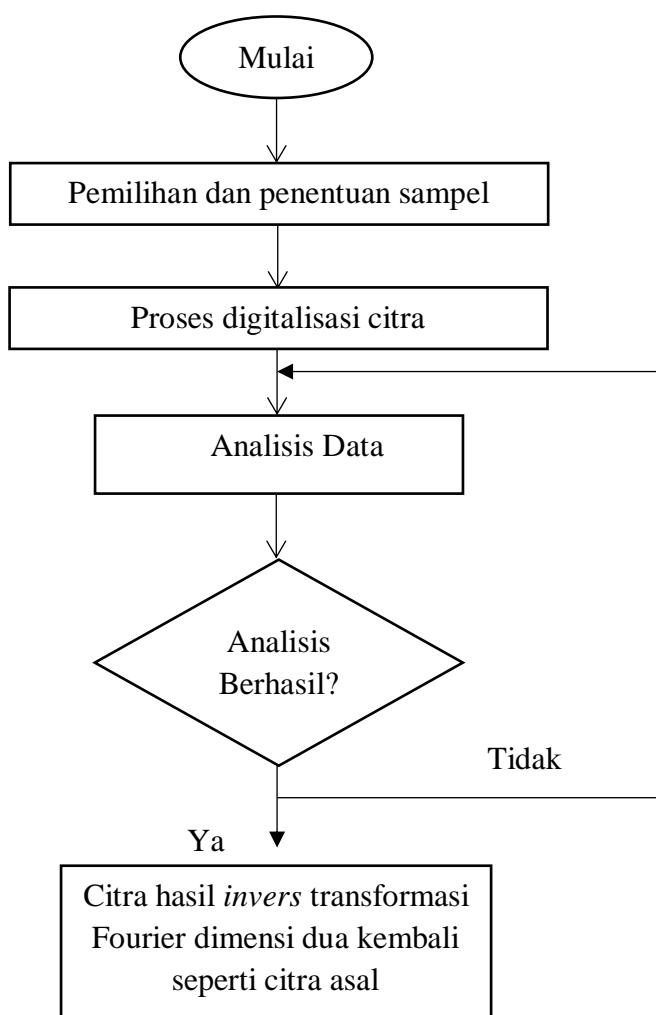
2. Diagram Alir





F. Tahap Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merestorasi citra lama yang sudah rusak menggunakan transformasi Fourier dimensi dua. File citra hasil digitalisasi disimpan dalam folder yang sama dengan perangkat lunak Matlab R2013a yang digunakan untuk melakukan transformasi Fourier dimensi dua. Berikut adalah diagram alir penelitian yang dilakukan.



BAB IV

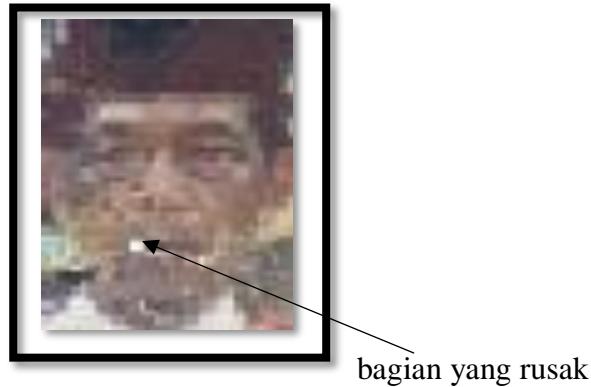
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan restorasi citra lama yang sudah rusak menggunakan transformasi Fourier dan mengetahui inti dari proses restorasi menggunakan transformasi Fourier. Proses restorasi dilakukan dengan membuat program *discrete Fourier transform* dimensi dua menggunakan MATLAB R2013a. Citra *output* dari *inverse discrete Fourier transform* merupakan hasil dari restorasi citra.

Citra yang digunakan pada penelitian ini merupakan citra lama yang sudah mengalami kerusakan dengan ukuran citra 51×63 pixel. Ukuran citra 51×63 pixel dipilih karena untuk memudahkan proses analisis data dan proses *running* program supaya tidak terlalu lama. Citra yang digunakan adalah citra wajah sebagai media informasi mengenai silsilah keluarga.

A. Pengolahan Citra Digital

Citra yang digunakan dalam penelitian ini merupakan citra lama yang sudah mengalami kerusakan fisik, ditandai adanya bagian berwarna putih atau terkelupas pada citra seperti pada Gambar 14. Kerusakan pada citra dapat terjadi karena beberapa faktor diantaranya kelembaban relatif, suhu, reaksi kimia, penyinaran, dan cacat akibat usia.



Gambar 4.1 Citra yang mengalami kerusakan

Citra yang digunakan dalam penelitian ini merupakan citra analog, sehingga sebelum melakukan pengolahan citra perlu dilakukan digitalisasi citra. Digitalisasi citra merupakan cara memperoleh citra digital dari citra analog melalui proses pengambilan sampel. Pada penelitian ini digunakan *scanner* untuk melakukan digitalisasi citra. Selanjutnya, foto yang sudah diubah menjadi citra digital disimpan satu lokasi dengan file MATLAB dengan format file JPEG (.jpg). Proses digitalisasi citra menggunakan *scanner* karena untuk mendapatkan hasil seperti foto aslinya.

Pengolahan citra digital merupakan ilmu yang mempelajari hal-hal yang berkaitan dengan perbaikan kualitas citra. Perbaikan kualitas citra dilakukan untuk mempermudah manusia menginterpretasikan informasi dari citra yang dilihat. Pada penelitian ini, pengolahan citra yang dilakukan adalah restorasi citra (*image restoration*). Restorasi citra dilakukan untuk mengembalikan citra yang mengalami penurunan kualitas seperti semula melalui proses *inverse*.

B. Restorasi Citra Domain Frekuensi

Sesuai dengan kajian pustaka pada bab sebelumnya, perbaikan citra digital yang mengalami *noise* dalam domain spasial dilakukan dengan mengubah beberapa nilai *pixel* pada citra. Namun, untuk citra yang mengalami *noise* dalam domain frekuensi perbaikan citra dilakukan dengan mentransformasikan citra menggunakan transformasi Fourier dimensi dua, mengubah mengubah nilai

transformasi Fourier pada frekuensi yang terdegradasi sesuai dengan nilai rata-rata di sekitarnya, dan melakukan *inverse* citra untuk memperoleh citra kembali.

Citra warna yang sudah diubah menjadi citra *grayscale* dikenai *discrete Fourier transform* dimensi dua, sehingga diperoleh nilai $T(u, v)$ untuk bagian real dan imajiner. Selanjutnya dilakukan proses restorasi dengan cara mengubah nilai $T(u, v)$ yang diduga mengalami degradasi. Nilai $T(u, v)$ diubah sesuai dengan hasil dari rerata nilai $T(u, v)$ di sekitarnya. Pada penelitian ini nilai rerata diperoleh dari perhitungan rerata tetangga menggunakan *kernel* 3×3 . Untuk mendapatkan nilai rerata tetangga dilakukan perhitungan seperti contoh di bawah ini,

	1	1	1	
	1	A=5	1	
	1	1	1	

Misal A adalah nilai $T(u, v)$ yang mengalami degradasi, maka untuk merestorasi dapat dihitung nilai reratanya sebagai berikut

$$A' = \frac{1}{9}\{1 + 1 + 1 + 1 + 5 + 1 + 1 + 1 + 1\}$$

$$A' = \frac{1}{9}\{13\}$$

$$A' = 1.44$$

Jadi, nilai $A = 5$ di atas diubah menjadi 1.44.

	1	1	1	
	1	A=1.44	1	
	1	1	1	

Pada penelitian ini, nilai $T(u, v)$ pada bagian real yang diubah dijelaskan pada tabel di bawah ini

Tabel 4.1 Nilai $T(u, v)$ Bagian Real Sebelum dan Sesudah Restorasi

u	v	$T(u, v)$	$T'(u, v)$
1	1	12608	382
2	1	-2322	1175
4	1	-4043	-414
6	3	-3745	-1751
1	7	-6418	-895
2	53	-3880	351
3	55	-2469	437
2	56	-2562	-8
1	57	-1944	-734
2	57	-2993	-747
2	58	-3414	-1393
3	58	-3087	-10
2	60	-4655	-698
3	61	-4237	1209
2	62	-6158	166
2	63	-4671	1730
51	1	-11953	2390
48	2	-4237	484
49	3	-4655	39
51	5	-4061	3092
49	10	-3880	-72
46	50	-2184	126
49	55	-1680	378
50	55	-7	1625
49	56	-324	1036
50	56	-6418	2195

51	56	3551	1981
50	57	-2346	3719
51	58	-4061	4501
46	59	-4459	-1879
47	59	-4623	-616
45	60	-3745	-857
46	60	-4991	-2124
47	60	-3205	-608
49	60	-4906	3416
50	60	-1471	8660
48	61	-1969	2911
49	61	-1660	6397
50	61	2321	14175
51	61	4457	12283
45	62	-2022	-455
47	62	-4043	1198
49	62	-2322	12775
51	62	12608	57903
48	63	2354	3195
49	63	-4671	7190
50	63	-57	58164
51	63	378460	16581

Selanjutnya, nilai $T(u, v)$ pada bagian imajiner yang diubah dijelaskan pada tabel di bawah ini

Tabel 4.2 Nilai $T(u, v)$ Bagian Imajiner Sebelum dan Sesudah Restorasi

u	v	$T(u, v)$	$T'(u, v)$
1	1	4641	-2389
2	1	-8946	-3166
4	1	-3515	-582

7	3	1524	853
1	7	3317	864
2	53	253	783
3	55	-1230	-234
2	56	3368	666
2	57	5507	1664
2	58	580	-381
3	58	1915	-756
2	60	1293	-19
3	61	1461	148
2	62	-6957	-1923
2	63	-7721	--2423
51	1	47529	1988
48	2	-1461	487
49	3	-1293	-140
51	5	15983	3692
49	10	-253	-730
46	50	341	258
49	55	-616	-349
50	55	-1594	-1728
49	56	-3232	-1804
50	56	-3317	-3760
51	56	-5195	-3615
50	57	31	-2966
51	58	201	-4117
46	59	1156	-247
47	59	2410	942
45	60	-1361	-819
46	60	-2360	-1139
47	60	-3203	57

49	60	4792	232
50	60	5855	-3721
48	61	4953	-132
49	61	10740	-712
50	61	5911	-1922
51	61	-19172	-2419
45	62	3301	880
47	62	3515	669
49	62	8946	302
51	62	-47529	-86
48	63	6566	1799
49	63	7721	2520
50	63	3921	87
51	63	0	-579

Setelah proses restorasi selesai, selanjutnya citra dikenai proses *inverse discrete Fourier transform* untuk mendapatkan citra hasil restorasi.

Citra hasil restorasi domain frekuensi pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 4.2.

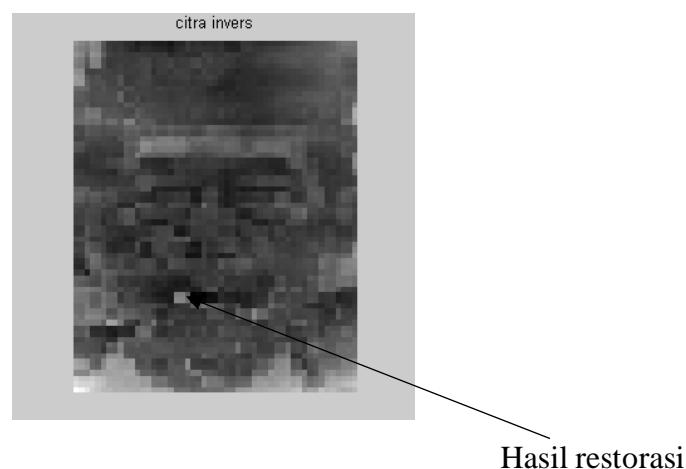
citra invers



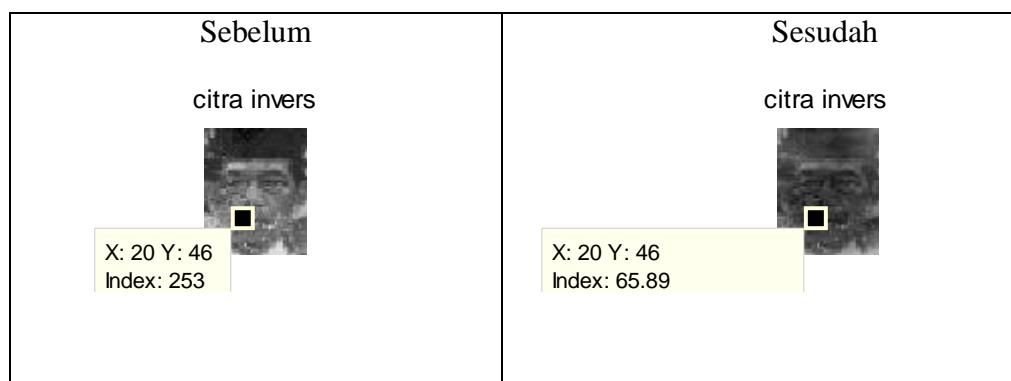
Gambar 4.2 Citra hasil restorasi domain frekuensi

Gambar 4.2 menunjukkan citra setelah di- *inverse* atau setelah diubah dari domain frekuensi kembali ke domain spasial. Tampilan citra menjadi lebih hitam atau lebih tajam daripada citra yang belum direstorasi. Hal ini disebabkan adanya perubahan nilai $T(u, v)$ atau nilai transformasi dari $f(x, y)$. Nilai

$T(u, v)$ yang diubah adalah nilai yang berada pada frekuensi rendah pada citra hasil transformasi, atau jika dilihat dalam bentuk citra nilai yang diubah ialah nilai pada bagian yang hitam pada citra. Nilai-nilai pada frekuensi rendah tersebut jika dihitung rerata dengan nilai-nilai di sekitarnya maka nilainya akan menyerupai nilai di sekitarnya.



Gambar 4.3 Bagian yang sudah direstorasi



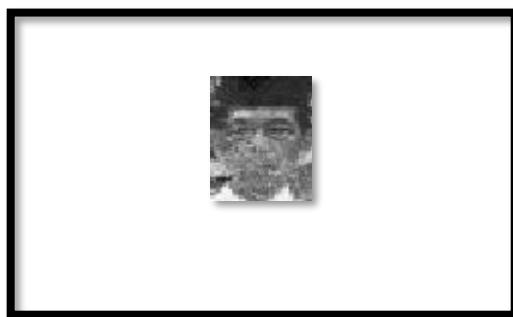
Gambar 4.4 Perbandingan citra sebelum dan sesudah restorasi dalam domain frekuensi

C. Restorasi Citra Domain Spasial

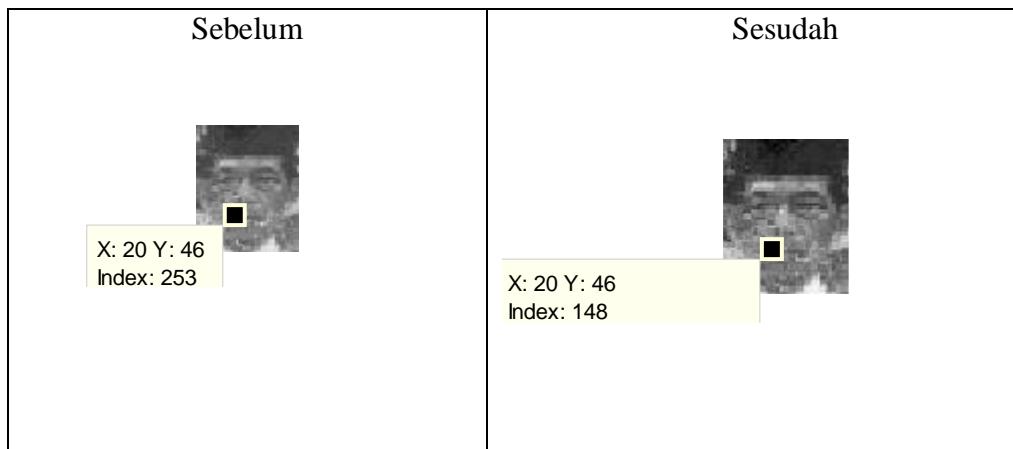
Restorasi citra selain dilakukan dalam domain frekuensi juga dapat dilakukan dalam domain spasial menggunakan transformasi spasial. Transformasi spasial adalah transformasi citra yang mengubah nilai intensitas *pixel* atau posisi *pixel*. Restorasi citra domain spasial dilakukan dengan

mengubah nilai *pixel* yang mengalami *noise* atau terdegradasi. Nilai *pixel* diubah berdasarkan hasil nilai rerata ketetanggaan *pixel*, pada penelitian ini nilai rerata ketetanggaan *pixel* dihitung menggunakan *kernel* 3×3 .

Pada penelitian ini bagian citra yang rusak adalah bagian yang terdapat warna putih. Sesuai pada kajian pustaka, warna putih menandakan bahwa bagian tersebut memiliki nilai *pixel* 255. Untuk mengetahui posisi nilai pixel yang mendekati 255, ditampilkan *worksheet* dari citra *grayscale*. Dari *worksheet* dapat diketahui nilai *pixel* tertinggi dari citra *grayscale* tersebut yaitu 253 pada posisi *pixel* (20,46) dan (19,47). Selanjutnya, nilai *pixel* tersebut diganti dengan nilai rerata ketetanggaan *pixel* di sekitarnya, dan diperoleh hasil untuk posisi (20,46) adalah 148 dan posisi (19,47) adalah 148. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai, nilai *pixel* yang diubah bukan hanya pada nilai 253 tetapi juga nilai-nilai *pixel* di sekitarnya. Hasil dari restorasi citra domain spasial ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Citra hasil restorasi domain spasial



Gambar 4.6 Perbandingan nilai intensitas *pixel* sebelum dan sesudah restorasi dalam domain spasial

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Restorasi digital citra lama atau citra yang sudah mengalami kerusakan dapat dilakukan dalam domain spasial dan dalam domain frekuensi. Restorasi digital citra lama dalam domain spasial dilakukan dengan cara mengubah nilai intensitas *pixel* sesuai hasil rerata *pixel* di sekitarnya. Restorasi digital citra lama dalam domain frekuensi dilakukan dengan mentransformasikan citra dari domain spasial ke domain frekuensi menggunakan transformasi Fourier dimensi dua. Dari hasil transformasi tersebut diperoleh nilai $T(u, v)$, yang selanjutnya nilai $T(u, v)$ yang terdegradasi diubah sesuai hasil rerata nilai $T(u, v)$ di sekitarnya. Selanjutnya untuk mendapatkan citra kembali atau citra hasil restorasi dilakukan proses *inverse* transformasi Fourier dimensi dua.
2. Restorasi digital citra lama menggunakan transformasi Fourier dimensi dua pada intinya adalah mengubah atau memperbaiki nilai $T(u, v)$ pada citra hasil transformasi Fourier.

B. Saran

Saran yang diberikan dalam penelitian ini antara lain:

1. Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan perangkat yang memadai agar dapat digunakan citra dengan ukuran yang lebih besar sehingga hasilnya lebih mudah untuk diamati dan proses *running* menggunakan MATLAB lebih cepat.

2. Penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan restorasi digital citra lama dengan berpedoman pada *Fast Fourier Transform* (FFT) sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Brigham, E.Oran. (1988). *The Fast Fourier Transform And Its Applications*.Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Gonzalez, R.C., & Woods, R.E. (2008). *Digital Image Processing Third Edition*.Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Nuradi, Hermawan. (2012). *Restorasi Digital Koleksi Foto Tua*. [Online]. Diakses dari <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308429-S42725-Restorasi%20digital.pdf>. [09 Januari 2019]
- Nurjanah, D. Siti, Suhaedi, D., Harahap, E., (Mei 2016). *Denoising Restorasi Citra Digital Menggunakan Filter Wiener*. [Online]. Diakses dari <http://ejournal.unisba.ac.id>. [19 Januari 2019]
- Putra, Darma. (2010). *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Qidwai, Uvais., & Chen, C.H. (2009). *Digital Image Processing An Algorithmic Approach with MATLAB®*. New York: CRC Press.
- Ridwan, A.F. (2017). *Food Photography Dalam Photobook Sebagai Media Promosi Pariwisata Street Food Culinary Kota Bandung*. [Online]. Diakses dari <http://repository.unpas.ac.id/28047/> . [22 Februari 2019]
- Sutoyo, T., Mulyanto, Edy., Suhartono, Vincent., Nurhayati, O.Dwi., Wijanarto. (2009). *Teori Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.