

**RESTORASI CITRA MEDIS DENGAN METODE
WIENER FILTER DAN PERONA-MALIK 1**

Tugas Akhir

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Mencapai Derajat
Sarjana Teknik Informatika**



Dibuat Oleh:

DEVINA ARNYNDIASARI

160708878

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

2020

LEMBAR PENGESAHAN

Restorasi Citra Medis Dengan Metode *Wiener Filter* Dan Perona-
Malik 1

Yogyakarta, 05 Mei 2020

Devina Arnyndiasari

160708878

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Pranowo, S.T., M.T.
NPP : 09.96.596

B. Yudi Dwiandiyanta, S.T., M.T.
NPP : 11.99.668

Penguji I

Penguji II

Prof. Ir. Suyoto, M.Sc., Ph.D.
NPP : 09.00.686

Patricia Ardanari, S.Si, M.T.
NPP : 03.94.512

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknologi Industri

Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc.
NPP : 09.93.464

PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Devina Arnyndiasari
NPM : 160708878
Program Studi : Teknik Informatika
Fakultas : Teknologi Industri
Judul Penelitian : Restorasi Citra Medis Dengan Metode *Wiener Filter* Dan Perona-Malik 1

Menyatakan dengan ini:

1. Tugas Akhir ini adalah benar tidak merupakan salinan sebagian atau keseluruhan dari karya penelitian lain.
2. Memberikan kepada Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas penelitian ini, berupa Hak untuk menyimpan, mengelola, mendistribusikan, dan menampilkan hasil penelitian selama tetap mencantumkan nama penulis.
3. Bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum atas pelanggaran Hak Cipta dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Yang menyatakan,

Devina Arnyndiasari

160708878

HALAMAN PERSEMBAHAN

Sebenarnya tidak ada masalah yang terlalu berat, karena Tuhan hanya memberikan masalah pada mereka yang kuat.

Jangan pernah mengeluh atas kekuranganmu, karena kekuranganmu akan mengingatkanmu untuk mencari kelebihan yang ada dalam dirimu.

Skripsi ini dipersembahkan Devina Arnyndiasari kepada orang yang telah membantu penulis terutama:

Tuhan Yang Maha Esa
Keluarga (Ibu, Bapak, Bernard)
Albertus David.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan kurnia dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan tugas akhir “Restorasi Citra Medis Dengan Metode *Wiener Filter* dan Perona-Malik 1” ini dengan baik. Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana Teknik Informatika dari Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan tugas akhir ini penulis dapat diselesaikan dengan baik tidak terlepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang selalu membimbing, memberikan berkat-Nya, dan menyertai penulis.
2. Bapak Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Martinus Maslim, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Informatika Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Bapak Dr. Pranowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak B. Yudi Dwiandiyanta, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Orang tua dan keluarga tercinta, yang selalu memberikan doa dan dukungan baik moral maupun material kepada penulis untuk selalu berusaha mencapai hasil yang baik dari awal sampai tugas akhir ini selesai.

7. Albertus David, yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dari awal sampai tugas akhir ini selesai.
8. Yudho dan Aga yang telah membantu dalam proses penelitian ini.
9. Denna, Agri, Listra, Yulita, Rizka yang memberikan motivasi dan semangat kepada penulis dari awal sampai tugas akhir ini selesai.

Demikian laporan tugas akhir ini dibuat, dan penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 5 Mei 2020

Devina Arnyndiasari

160708878



DAFTAR ISI

RESTORASI CITRA MEDIS DENGAN METODE <i>WIENER FILTER</i> DAN PERONA-MALIK 1	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS & PUBLIKASI ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
INTISARI.....	xi
BAB I.	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
BAB III.....	8
LANDASAN TEORI.....	8
3.1 <i>Noise</i>	8
3.2 <i>Partial Differential Equations</i>	9
3.3 <i>Wiener Filter</i>	11
BAB IV.	13
METODELOGI PENELITIAN	13
4.1 Alat Penelitian.....	13
4.2 Langkah-Langkah Penelitian	14

4.3 Penjelasan Algoritma Program	16
4.3.1 <i>Wiener Filter</i>	16
4.3.2 Perona-Malik 1	19
BAB V	23
HASIL DAN PEMBAHASAN	23
5.1 Rencana Pengujian	23
5.2 Hasil Pengujian	24
5.2.1 Citra Uji 1 (391 x 423)	24
5.2.2 Citra Uji 2 (200 x 232)	26
5.2.3 Citra Uji 3 (439 x 512)	27
5.2.4 Citra Uji 4 (250 x 294)	29
5.2.5 Citra Uji 5 (1205 x 1687)	31
BAB VI	33
PENUTUP	33
6.1 Kesimpulan	33
6.2 Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34

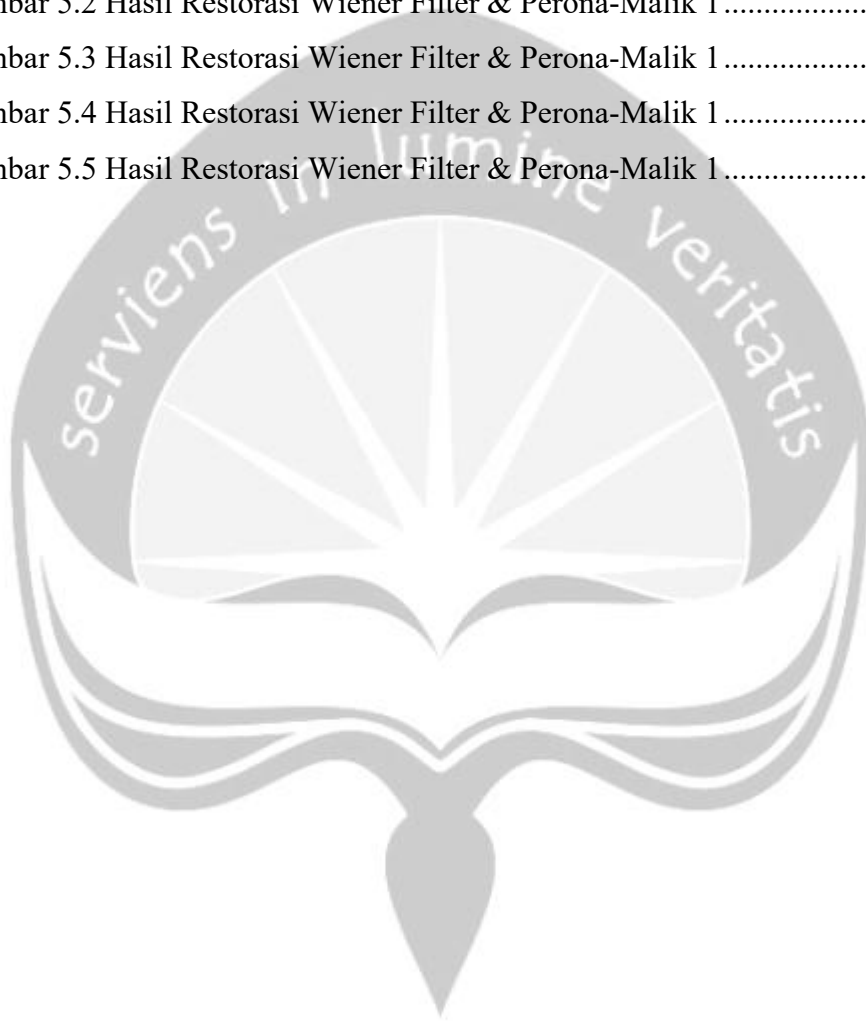
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi Alat Penelitian	13
Tabel 5.1 Perbandingan nilai PSNR, MSE dan SSIM pada Citra Uji 1.....	25
Tabel 5.2 Perbandingan nilai PSNR, MSE dan SSIM pada Citra Uji 2	27
Tabel 5.3 Perbandingan nilai PSNR, MSE dan SSIM pada Citra Uji 3	28
Tabel 5.4 Perbandingan nilai PSNR, MSE dan SSIM pada Citra Uji 4.....	30
Tabel 5.5 Perbandingan nilai PSNR, MSE dan SSIM pada Citra Uji 5	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Salt and Pepper noise	8
Gambar 3.2 Daerah Isophote.....	10
Gambar 4.1 Kerangka Alur Penelitian.....	14
Gambar 5.1 Hasil Restorasi Wiener Filter & Perona-Malik 1	25
Gambar 5.2 Hasil Restorasi Wiener Filter & Perona-Malik 1	26
Gambar 5.3 Hasil Restorasi Wiener Filter & Perona-Malik 1	28
Gambar 5.4 Hasil Restorasi Wiener Filter & Perona-Malik 1	29
Gambar 5.5 Hasil Restorasi Wiener Filter & Perona-Malik 1	31



INTISARI

Restorasi Citra Medis Dengan Metode *Wiener Filter* Dan Perona-Malik 1

Devina Arnyndiasari

160708878

Kesehatan merupakan hal penting yang harus diperhatikan oleh manusia. Kelainan atau penyakit pada manusia seperti tumor merupakan salah satu ancaman bagi kesehatan manusia. Penyakit tersebut dapat dipresentasikan dalam bentuk citra medis, Salah satu permasalahan citra medis yakni terdapatnya *noise* yang tidak dikehendaki kemunculannya. Maka, diperlukan restorasi untuk mengembalikan citra yang terkontaminasi *noise* dan agar mendekati ke citra aslinya dengan metode yang ada.

Wiener filter dan Perona-Malik 1 merupakan metode yang dapat merestorasi citra medis. Perona-Malik 1 merupakan salah satu perhitungan matematis dari *Partial Differential Equation* (PDE). Metode tersebut dapat dijalankan pada citra dengan *noise* yang sebelumnya sudah ada maupun *noise* yang sengaja ditambahkan.

Noise yang sengaja ditambahkan yakni *salt and pepper* sebagai proses pengujian restorasi citra. *Salt and pepper noise* akan di restorasi dengan metode *Wiener filter* dan Perona-Malik 1. Hasil citra restorasi di uji dengan MSE, PSNR dan SSIM. Nilai SSIM tertinggi yakni 0,40 pada *wiener filter* dan 0,62 pada hasil Perona-Malik 1.

Kata Kunci: *Noise, Wiener filter, Partial Differential Equation, Perona-Malik 1.*

Dosen Pembimbing I : Dr. Pranowo, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II : B. Yudi Dwiandiyanta, S.T., M.T.

Jadwal Sidang Tugas Akhir : 05 Mei 2020

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan merupakan hal penting yang harus diperhatikan oleh manusia. Manusia yang memiliki kelainan atau penyakit tentunya dapat mengancam kesehatan itu sendiri. Maka diperlukan tindakan pencegahan agar kelainan atau penyakit tidak mengancam kesehatan manusia. Salah satu kelainan tersebut adalah tumor. Tumor merupakan pertumbuhan jaringan yang tidak normal dan tidak teratur [1]. Terdapat dua jenis tumor pada umumnya yakni benigna (jinak) dan maligna (ganas). Salah satu jenis dari tumor ganas adalah tumor otak. Insidensi tumor otak mengalami peningkatan pada anak-anak di Eropa dan Amerika Serikat, dimana sebanyak 2-6 *individual* dari 100.000 terkena penyakit tersebut [2][3]. Tumor tidak dapat diobservasi secara langsung dari luar tubuh manusia, maka diperlukan bantuan alat medis agar tumor dapat ditampilkan. Alat medis yang dapat mendeteksi tumor dalam tubuh manusia biasanya menggunakan *MRI* dan *CT-SCAN* [4]. Hasil dari alat medis adalah citra medis.

Citra medis merupakan sebuah citra yang dapat menampilkan anggota tubuh manusia. Bagian anggota tubuh yang dapat ditampilkan seperti otak, tulang dan organ tubuh lainnya. Hasil dari citra medis dapat mendeteksi sebuah kelainan atau penyakit dari organ tubuh manusia. Diperlukan ketelitian tinggi dalam mendeteksi sebuah penyakit apabila hasil citra medis masih terdapat *noise*. *Noise* adalah komponen yang tidak dikehendaki kemunculannya pada semua jenis citra, tak terkecuali citra medis. Penyebab terjadinya *noise* pada citra yakni seperti pencahayaan tidak merata, lensa kamera yang tidak fokus atau *noise* yang sengaja ditambahkan pada citra yang tujuan menurunkan kualitas citra agar dapat dilakukan pengujian penghapusan *noise*.

Penghapusan *noise* pada citra medis digunakan diawal *image processing* [5]. Proses tersebut memiliki peranan penting dalam dasar analisis medis. Proses penghapusan *noise* yang tidak efektif dapat berakibat pada melencengnya analisa dokter. Maka diperlukan bantuan *software* komputer pada proses penghapusan *noise* atau sering disebut restorasi.

Restorasi merupakan sebuah metode yang dapat menghapus *noise* pada citra dengan mempertahankan fitur penting pada citra tersebut [6]. Metode ini dapat ditangani dengan menggunakan algoritma yang ada. Salah satu algoritma yang ada seperti *Wiener Filter* dan Variasi Total Nonlinear. Algoritma tersebut dapat digunakan dalam proses penghapusan *noise* pada citra *tank* [7]. Penulis juga menggunakan algoritma berbasis PDE (*Partial Differential Equation*) pada penelitiannya.

Partial Differential Equation atau sering disebut PDE merupakan salah satu metode pengolahan citra. Menurut [6], metode pengolahan citra dapat dikelompokkan menjadi 3 yakni pemodelan stokastik, *wavelet*, dan PDE. PDE berasal dari ilmu fisika dan mekanika. Metode tersebut digunakan dalam analisis citra dengan menemukan solusi numerik. Salah satu metode PDE yang dapat digunakan yakni metode Perona-Malik 1.

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk restorasi citra medis tumor dengan menggunakan metode *Wiener Filter* dan Perona-Malik 1. Proses tersebut dapat dijalankan pada citra dengan *noise* yang sebelumnya sudah ada maupun *noise* yang sengaja ditambahkan. Hasil dari metode ini diharapkan dapat mengembalikan citra dengan menghapuskan *noise* yang ada agar mendekati ke citra aslinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diutarakan, maka peneliti mengangkat rumusan masalah mengenai:

1. Bagaimana mengimplementasikan proses restorasi citra medis dengan metode *Wiener Filter* dan Perona-Malik 1.
2. Bagaimana mengembalikan citra yang terkontaminasi *noise* dan agar mendekati ke citra aslinya.

1.3 Batasan Masalah

Agar terhindar dari pelebaran topik, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Metode dalam penelitian ini menggunakan *Wiener Filter* dan Perona-Malik 1.
2. Jenis citra yang digunakan adalah citra medis yang ditambahkan *noise* atau citra yang telah terkena *noise*.
3. Penambahan *noise* menggunakan *salt and pepper*.
4. Citra medis tumor yang digunakan yakni *CT-Scan* dan MRI.
5. Format citra yang dipakai *.jpeg*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengimplementasi metode *Wiener Filter* dan Perona-Malik 1 dalam proses restorasi.
2. Mengembalikan citra yang terkontaminasi *noise* agar mendekati ke citra aslinya.

1.5 Metode Penelitian

Secara keseluruhan metode pada penelitian ini memiliki beberapa tahap yakni:

a. Kajian Pustaka

Kajian pustaka yang digunakan penulis untuk mendapatkan dasar-dasar teori yang terbukti *valid* dimana dijadikan sebagai sumber informasi dalam penyusunan skripsi penulis. Kajian pustaka yang berkaitan dengan masalah penelitian didapatkan dari beberapa buku, dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian penulis.

b. Analisis

Analisis digunakan untuk mengolah metode yang ada pada kajian pustaka dan selanjutnya menganalisis hasil studi kajian pustaka yang didapatkan sehingga menjadikan sebuah informasi.

c. Implementasi dan Pengujian Metode

Tahap ini mengimplementasi metode dalam proses pengolahan citra agar mendapatkan hasil apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan penulis. Pengujian metode adalah menjalankan program yang disusun oleh penulis.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat informasi dan penjelasan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang akan digunakan sebagai dasar penyusunan penelitian ini.

BAB III LANDASAN TEORI

Bab ini memuat dasar-dasar teori yang digunakan dalam proses penelitian.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini memuat alat penelitian, langkah-langkah penelitian, dan penjelasan algoritma program yang akan dilakukan.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat penjelasan mengenai rencana pengujian dan hasil dari pengujian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk membantu penelitian selanjutnya.

BAB II.

TINJAUAN PUSTAKA

Image restoration (restorasi citra) memiliki kesamaan dengan *image enhancement* memiliki tujuan utama yakni meningkatkan kualitas pada sebuah citra. Restorasi bekerja dalam mendapatkan kembali (*recover*) citra asli pada citra yang mengalami penurunan kualitas atau sering disebut degradasi. Metode yang pernah digunakan dalam *image restoration* dalam berbagai penelitian contohnya seperti metode *partial differential equations* [7], *reinforcement learning* [8] dan *wiener filter*[4]. Citra yang digunakan juga beraneka ragam seperti citra ultrasonik [4], citra yang membantu investigasi kriminal [8] dan citra medis [9].

Menurut [7], peneliti menggunakan algoritma minimisasi terbatas sebagai *partial differential equations* (PDE) nonlinear tergantung waktu. Kendala yang ditentukan dengan menggunakan statistik *noise*. Metode lain untuk melakukan restorasi juga menggunakan *wiener filter*. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah membandingkan hasil dari kedua metode tersebut, dimana citra hasil restorasi akan lebih baik apabila dibandingkan dengan citra aslinya. Alur dari penelitian yakni memberikan *noise* pada citra yang bersih. Penambahan *noise* menggunakan *gaussian white noise* dan menentukan kualitas dari sinyal yang terganggu *noise* menggunakan *signal noise ratio* (SNR). Citra yang dicontohkan yakni citra *tank* yang ditambahkan *gaussian noise*. *Noise* yang ditambahkan juga sesuai dengan keinginan dan selanjutnya citra tersebut akan direstorasi dengan kedua metode diatas. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa restorasi citra dengan menggunakan metode PDE lebih baik daripada metode *wiener filter* apabila dilihat secara langsung.

Menurut penelitian [8] yakni pengenalan wajah kabur dan identifikasi kendaraan yang paling banyak digunakan dalam investigasi kriminal. Metode yang digunakan pada penelitian ini yakni *reinforcement learning* (RL) *restore* dan *wiener filter*. Alur dari penelitian ini citra asli diberikan *noise* lalu di restorasi dengan menggunakan *filter*. *Noise* yang diberikan yakni antara *Gaussian noise*, *Salt-pepper noise* dan *Raylr noise*. Hasil dari proses tersebut diolah kembali dimana kualitas citra akan diukur dengan menggunakan *parameter peak signal to noise ratio* (PSNR), *signal to noise ratio* (SNR), *mean absolute error* (MAE), *information fidelity criterion* (IFC), *visual information fidelity* (VIF), *structural similarity index metrics* (SSIM), dan *feature similarity index* (FSIM). Hasil dari restorasi citra menunjukkan dengan menggunakan metode *RL-restore* lebih baik dalam restorasi citra.

Menurut penelitian [10], restorasi citra dapat dipadukan dengan dua metode yakni Variasi Total dan *Curvelet Transform*. Penelitian ini dilakukan untuk mengurangi *noise* pada citra medis agar para ahli dapat menemukan informasi yang benar. Citra medis yang digunakan yakni *Computed Tomography* (CT) *Scan* dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) pada otak. Kedua citra tersebut diproses dengan metode Variasi Total, dimana hasil tersebut akan menyisakan *noise* pada citra. Sisa *noise* tersebut akan diproses kembali dengan metode *Curvelet Transform*. Langkah terakhir yang dilakukan yakni menjaga kualitas tepi. Hasil dari proses tersebut diolah kembali dimana kualitas citra akan diukur dengan menggunakan *parameter peak signal to noise ratio* (PSNR), *universal quality Index* (UQI), *structural similarity index metrics* (SSIM), dan *edge keeping index* (EKI). Kinerja metode yang diusulkan pada hasil citra *CT-Scan* dan citra MRI menunjukkan peningkatan yang signifikan tidak hanya pada pengurangan *noise* tetapi juga menjaga kualitas tepi. Hasil restorasi citra menunjukkan dengan metode *curvelet* lebih cocok untuk citra *CT-Scan* sedangkan metode TV lebih untuk citra MRI.

BAB VI.

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan restorasi citra medis dengan metode *Wiener filter* dan Perona-Malik 1 diatas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, bahwa:

1. Restorasi citra medis dengan metode *Wiener filter* dan Perona-Malik 1 berhasil dikembangkan yang bertujuan mengembalikan citra yang terkontaminasi *noise* agar mendekati ke citra aslinya.
2. Penerapan metode Perona-Malik 1 memiliki nilai kualitas SSIM yang semakin mendekati angka 1 dimana hasil restorasi dianggap mendekati citra aslinya.
3. Semakin besar ukuran kernel maka semakin besar juga derajat *filter*nya, sehingga dapat menghilangkan informasi dari citra medis.
4. Penerapan metode *Wiener filter* dapat merestorasi citra tetapi masih terdapat *noise* yang tertinggal.

6.2 Saran

Terdapat saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya mengenai restorasi citra baik medis atau non-medis dengan metode *Wiener filter* dan Perona-Malik 1:

1. Program yang akan dikembangkan dapat ditambahkan dengan GUI, agar membantu proses pengoperasian lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Kumar, A. K. Abbas, and J. C. Aster, *Robbins Basic Pathology*, 10th ed. Elsevier, 2018.
- [2] J. Limond *et al.*, “Quality of survival assessment in European childhood brain tumour trials, for children below the age of 5 years,” *Eur. J. Paediatr. Neurol.*, 2019, doi: 10.1016/j.ejpn.2019.10.002.
- [3] K. J. Johnson, J. Cullen, and J. S. Barnholtz-sloan, “Childhood Brain Tumor Epidemiology : A Brain Tumor Epidemiology Consortium Review,” 2014, doi: 10.1158/1055-9965.EPI-14-0207.
- [4] F. Baselice, G. Ferraioli, M. Ambrosanio, V. Pascazio, and G. Schirinzi, “Enhanced Wiener filter for ultrasound image restoration,” *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 153, pp. 71–81, 2018, doi: 10.1016/j.cmpb.2017.10.006.
- [5] P. Gravel, G. Beaudoin, and J. A. De Guise, “A method for modeling noise in medical images,” *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 23, no. 10, pp. 1221–1232, 2004, doi: 10.1109/TMI.2004.832656.
- [6] G. Aubert and P. Kornprobst, *Mathematical Problems in Image Processing Partial Differential Equations and the Calculus of Variations*, vol. 139. .
- [7] L. I. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi, “Nonlinear total variation based noise removal algorithms,” *Phys. D*, vol. 60, pp. 259–268, 1992.
- [8] S. Sun, “Application of Fuzzy Image Restoration in Criminal Investigation,” *J. Vis. Commun. Image Represent.*, p. 102704, 2019, doi: 10.1016/j.jvcir.2019.102704.
- [9] L. Chen, P. Bentley, K. Mori, K. Misawa, M. Fujiwara, and D. Rueckert, “Self-supervised learning for medical image analysis using image context restoration,” *Med. Image Anal.*, vol. 58, p. 101539, 2019, doi: 10.1016/j.media.2019.101539.
- [10] H. S. Bhadauria and M. L. Dewal, “Medical image denoising using adaptive fusion of curvelet transform and total variation,” *Comput. Electr. Eng.*, vol. 39, no. 5, pp. 1451–1460, 2013, doi: 10.1016/j.compeleceng.2012.04.003.
- [11] Jiri Jan, *Medical Image Processing , Reconstruction and Restoration*

Concepts and Methods. 2006.

- [12] K. Dawson-howe, *Computer Vision with OpenCV A Practical Introduction to*. 2014.
- [13] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*. 2018.
- [14] P. Perona and J. Malik, "Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion," vol. 12, no. 7, 1990.
- [15] V. Kamalaveni, R. A. Rajalakshmia, and K A Narayanankutty, "Image Denoising Using Variations of Perona-Malik Model with Different Edge Stopping Functions," *Procedia - Procedia Comput. Sci.*, vol. 58, pp. 673–682, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.08.087.
- [16] C. S. Varnan, A. Jagan, J. Kaur, D. Jyoti, and D. S. Rao, "Image Quality Assessment Techniques in Spatial Domain," *Int. J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 177–184, 2011.

