**EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL**

Tugas Akhir Skripsi

Logo

Description automatically generated

oleh:

**GIAN PRADIPTA GUNAWAN**

**71210689**

PROGRAM STUDI INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA

TAHUN 2025

**EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL**

Tugas Akhir Skripsi

Logo

Description automatically generated

Diajukan kepada Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Informasi

Universitas Kristen Duta Wacana

Sebagai Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar

Sarjana Komputer

Disusun oleh

**GIAN PRADIPTA GUNAWAN**

**71210689**

PROGRAM STUDI INFORMATIKA FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA

TAHUN 2025

**PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

**EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL**

yang saya kerjakan untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Komputer pada pendidikan Sarjana Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Informasi Universitas Kristen Duta Wacana, bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir kesarjanaan di lingkungan Universitas Kristen Duta Wacana maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Jika dikemudian hari didapati bahwa hasil tugas akhir ini adalah hasil plagiasi atau tiruan dari tugas akhir lain, saya bersedia dikenai sanksi yakni pencabutan gelar kesarjanaan saya.

Yogyakarta, ----------------

**MATERAI Rp.10,000**

GIAN PRADIPTA GUNAWAN

71210689

**HALAMAN PERSETUJUAN**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Judul Tugas Akhir | : | EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL |
| Nama Mahasiswa | : | Gian Pradipta Gunawan |
| NIM | : | 71210689 |
| Mata Kuliah | : | Tugas Akhir |
| Kode | : | TI0366 |
| Semester | : | Genap |
| Tahun Akademik | : | 2024/2025 |

Telah diperiksa dan disetujui di

Yogyakarta,

Pada tanggal ----------

Dosen Pembimbing I Dosen Pembimbing II

I Kadek Dendy Senapartha. S. T., M. Eng. Budi Susanto, S.Kom.,M.T.

**HALAMAN PENGESAHAN**

**EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL**

Oleh: GIAN PRADIPTA GUNAWAN/ 71210689

Dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir

Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Informasi

Universitas Kristen Duta Wacana - Yogyakarta

Dan dinyatakan diterima untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Komputer

pada tanggal .................

Yogyakarta, --------------

Mengesahkan,

|  |  |
| --- | --- |
| Dewan Penguji: | |
| 1. Dosen 1 | ---------------------------------------- |
| 1. Dosen 2 | ---------------------------------------- |
|  | ---------------------------------------- |
|  | ---------------------------------------- |

Dekan Ketua Program Studi

(Restyandito,S.Kom.,MSIS.,Ph.D.) (Joko Purwadi, S.Kom., M.Kom.)

# HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS SECARA ONLINE

**UNIVERSITAS KRISTEN DUTA WACANA YOGYAKARTA**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| NIM | : | 71210689 |
| Nama | : | Gian Pradipta Gunawan |
| Fakultas / Prodi | : | Teknologi Informasi / Informatika |
| Judul Tugas Akhir | : | EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL |

bersedia menyerahkan Tugas Akhir kepada Universitas melalui Perpustakaan untuk keperluan akademis dan memberikan **Hak Bebas Royalti Non Eksklusif** (*Non-exclusive Royalty-free Right*) serta bersedia Tugas Akhirnya dipublikasikan secara online dan dapat diakses secara lengkap (*full access*).

Dengan Hak Bebas Royalti Non Eksklusif ini Perpustakaan Universitas Kristen Duta Wacana berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk *database*, merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Yang menyatakan,

**(71210689 – GIAN PRADIPTA GUNAWAN)**

Karya sederhana ini dipersembahkan

kepada Tuhan, Keluarga Tercinta,

dan Kedua Orang Tua

*Segala sesuatu indah pada waktu-Nya*

Anonim

*Perjalanan ribuan mil dimulai dari langkah satu mil*

(Pepatah Kuno)

# KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan yang maha kasih, karena atas segala rahmat, bimbingan, dan bantuan-Nya maka akhirnya Tugas Akhir Skripsi dengan judul [JUDUL TUGAS AKHIR YANG JELAS DAN LENGKAP] ini telah selesai disusun.

Penulis memperoleh banyak bantuan dari kerja sama baik secara moral maupun spiritual dalam penulisan Tugas Akhir ini, untuk itu tak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan yang maha kasih,
2. Orang tua yang selama ini telah sabar membimbing dan mendoakan penulis tanpa kenal untuk selama-lamanya,
3. Dekan selaku Dekan FTI, yang ....
4. Kaprodi selaku Kaprodi Informatika, yang .....
5. Dosen Pembimbing 1 selaku Dosen Pembimbing 1, yang telah memberikan ilmunya dan dengan penuh kesabaran membimbing penulis,
6. Dosen Pembimbing 2, selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan ilmu dan kesabaran dalam membimbing penulis,
7. Keluarga tercinta: yang ...
8. Lain-lain yang telah mendukung moral, spiritual, dan dana untuk belajar selama ini.

Laporan proposal/tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari segala kekurangan dan kelemahan, untuk itu segala kritikan dan saran yang bersifat membangun guna kesempurnaan skripsi ini sangat diharapkan. Semoga proposal/tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca semua dan lebih khusus lagi bagi pengembagan ilmu komputer dan teknologi informasi.

Yogyakarta, ----------

GIAN PRADIPTA GUNAWAN

# DAFTAR ISI

[HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS SECARA ONLINE 6](#_Toc198310476)

[KATA PENGANTAR 9](#_Toc198310477)

[DAFTAR ISI 10](#_Toc198310478)

[DAFTAR TABEL 12](#_Toc198310479)

[DAFTAR GAMBAR 13](#_Toc198310480)

[BAB I 17](#_Toc198310481)

[1.1. Latar Belakang Masalah 17](#_Toc198310482)

[1.2. Perumusan Masalah 19](#_Toc198310483)

[1.3. Batasan Masalah 19](#_Toc198310484)

[1.4. Tujuan Penelitian 20](#_Toc198310485)

[1.5. Manfaat Penelitian 20](#_Toc198310486)

[1.6. Sistematika Penulisan 20](#_Toc198310487)

[BAB II 22](#_Toc198310488)

[2.1 Tinjauan Pustaka 22](#_Toc198310489)

[2.2 Landasan Teori 24](#_Toc198310490)

[BAB III 31](#_Toc198310491)

[3.1. Alur Penelitian 31](#_Toc198310492)

[BAB IV 35](#_Toc198310493)

[4.1. Pengumpulan Data 35](#_Toc198310494)

[4.2. Penambahan *Noise* Aditif 36](#_Toc198310495)

[4.3. Pengujian 38](#_Toc198310496)

[4.4. Evaluasi 44](#_Toc198310497)

[4.5. Pembahasan 63](#_Toc198310498)

[BAB V 64](#_Toc198310499)

[5.1. Kesimpulan 64](#_Toc198310500)

[5.2. Saran 64](#_Toc198310501)

[DAFTAR PUSTAKA 66](#_Toc198310502)

[LAMPIRAN A 69](#_Toc198310503)

[LAMPIRAN B 71](#_Toc198310504)

[LAMPIRAN C 72](#_Toc198310505)

[LAMPIRAN D 73](#_Toc198310506)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 4. 1 Hasil evaluasi PSNR dan SSIM untuk denoising noise Gaussian 47](#_Toc198310539)

[Tabel 4. 2 Hasil evaluasi PSNR dan SSIM untuk denoising noise Poisson 53](#_Toc198310540)

[Tabel 4. 3 Hasil PSNR dan SSIM untuk denoising noise gabungan Gaussian dan Poisson 57](#_Toc198310541)

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2. 1 Notasi matematika noise pada gambar 26](#_Toc198310626)

[Gambar 2. 2 Operator Gaussian 2D 28](#_Toc198310627)

[Gambar 2. 3 Operator Gaussian berbasis kartesian 28](#_Toc198310628)

[Gambar 2. 4 Rumus MSE 29](#_Toc198310629)

[Gambar 2. 5 Rumus PSNR 29](#_Toc198310630)

[Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian 31](#_Toc198310691)

[Gambar 4. 1 Pseudocode Mengambil dataset LFW kemudian di-resize menjadi ukuran 224x224 dan diubah ke greyscale 36](#_Toc198310701)

[Gambar 4. 2 Pseudocode konversi Citra ke dalam format float32 38](#_Toc198310702)

[Gambar 4. 3 Pseudocode fungsi test\_gaussian untuk menguji peforma Gaussian Blur terhadap reduksi noise Gaussian 39](#_Toc198310703)

[Gambar 4. 4 Pseudocode fungsi test\_poisson untuk menguji peforma Gaussian Blur terhadap reduksi noise Poisson 41](#_Toc198310704)

[Gambar 4. 5 Pseudocode fungsi test\_gaussian\_poisson untuk menguji peforma Gaussian Blur terhadap reduksi gabungan noise Poisson dan Gaussian 43](#_Toc198310705)

[Gambar 4. 6 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 47](#_Toc198310706)

[Gambar 4. 7 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 47](#_Toc198310707)

[Gambar 4. 8 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 49](#_Toc198310708)

[Gambar 4. 9 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 49](#_Toc198310709)

[Gambar 4. 10 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 50](#_Toc198310710)

[Gambar 4. 11 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 51](#_Toc198310711)

[Gambar 4. 12 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 53](#_Toc198310712)

[Gambar 4. 13 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 53](#_Toc198310713)

[Gambar 4. 14 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 58](#_Toc198310714)

[Gambar 4. 15 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 58](#_Toc198310715)

[Gambar 4. 16 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 60](#_Toc198310716)

[Gambar 4. 17 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 60](#_Toc198310717)

[Gambar 4. 18 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 61](#_Toc198310718)

[Gambar 4. 19 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel 62](#_Toc198310719)

**INTISARI**

**EVALUASI METODE GAUSSIAN BLUR DALAM MEREDUKSI GAUSSIAN DAN POISSON NOISE PADA CITRA DIGITAL**

Oleh

GIAN PRADIPTA GUNAWAN

71210689

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode Gaussian Blur dalam mereduksi *noise* pada citra digital, khususnya jenis *noise* Gaussian dan Poisson, yang umum dijumpai pada citra hasil tangkapan kamera ponsel. Studi ini merupakan pengembangan dari Sistem Presensi Multifaktor berbasis Android, di mana kualitas citra wajah sangat mempengaruhi kinerja sistem pengenalan wajah, termasuk tahap pendeteksian keburaman yang sensitif terhadap *noise*. Gaussian Blur digunakan sebagai metode penyaringan low-pass untuk meredam komponen frekuensi tinggi, seperti *noise* acak, tanpa menghilangkan detail penting dalam citra. Evaluasi dilakukan menggunakan dua metrik, yaitu Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Structural Similarity Index Measure (SSIM), guna menilai kualitas citra hasil pemrosesan baik dari segi kuantitatif maupun persepsi visual. Berdasarkan pengujian, konfigurasi Gaussian Blur dengan kernel 9×9 dan sigma 1.5 memberikan hasil terbaik dengan nilai PSNR di atas 30 dB dan SSIM di atas 0.9 untuk tingkat *noise* rendah hingga sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa Gaussian Blur efektif dan layak diterapkan dalam sistem yang dikembangkan untuk meningkatkan kualitas citra melalui pereduksian *noise*.

**Kata kunci**: Gaussian Blur, noise citra, PSNR, SSIM, pemrosesan citra digital

**ABSTRACT**

**APPLICATION OF GAUSSIAN BLUR FOR IMPROVING ACCURACY IN MULTIFACTOR ATTENDANCE SYSTEMS**

By

GIAN PRADIPTA GUNAWAN

7121068

This study aims to evaluate the effectiveness of the Gaussian Blur method in reducing noise in digital images, particularly Gaussian and Poisson noise, which are commonly found in images captured by mobile phone cameras. The research is a development of the existing Multi-Factor Attendance System Android application, where image quality significantly affects the performance of the facial recognition system, including the blur detection stage that is highly sensitive to noise. Gaussian Blur is employed as a low-pass filtering technique to suppress high-frequency components such as random noise while preserving important image details. The evaluation was conducted using two metrics: Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index Measure (SSIM), to assess both quantitative quality and visual perception of the processed images. Experimental results show that a Gaussian Blur configuration with a 9×9 kernel and a sigma value of 1.5 yields the best performance, achieving PSNR values above 30 dB and SSIM values above 0.9 for low to moderate noise levels. These findings indicate that Gaussian Blur is effective and suitable for application in the developed system to enhance image quality through noise reduction.

**Keywords**: Gaussian Blur, image noise, PSNR, SSIM, digital image processing.

# BAB I

**PENDAHULUAN**

## Latar Belakang Masalah

Penelitian ini merupakan pengembangan dari aplikasi yang telah dibuat dalam penelitian sebelumnya oleh (Kornelius, 2024), yaitu Sistem Presensi Multifaktor, sebuah aplikasi Android yang memanfaatkan lokasi perangkat, QR Code, dan pengenalan wajah untuk melakukan presensi. Dalam proses pengenalan wajah, citra yang ditangkap melalui kamera akan diproses melalui beberapa tahap, seperti pendeteksian tepi dan keburaman. Penelitian oleh (Senapartha & Tamtama, 2023) juga telah mengembangkan sistem deteksi wajah palsu (*anti-spoofing*) untuk meningkatkan keamanan. Namun, kualitas citra wajah yang digunakan sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan perangkat, yang dapat memunculkan gangguan berupa *noise*, seperti *noise* Gaussian dan Poisson. Kehadiran *noise* ini dapat mengganggu akurasi pengenalan wajah, sehingga berdampak pada keandalan sistem presensi secara keseluruhan.

Permasalahan *noise* pada citra menjadi semakin penting untuk diperhatikan dalam konteks ini, karena secara langsung mempengaruhi kualitas dan akurasi hasil analisis citra yang dilakukan oleh sistem. *Noise* muncul sebagai gangguan acak pada nilai piksel yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi pencahayaan yang buruk, gangguan elektronik pada sensor kamera, atau kesalahan transmisi data. Akibatnya, citra dapat menjadi buram, berbintik, atau kehilangan detail penting, yang menyulitkan proses-proses lanjutan seperti segmentasi, deteksi tepi, maupun pengenalan pola (Siregar et al., 2024). Oleh karena itu, penanganan *noise* menjadi aspek krusial dalam meningkatkan keandalan sistem presensi berbasis pengenalan wajah. Contoh permasalahan yang dapat ditimbulkan oleh *noise* adalah pada proses *anti-spoofing* dan pendeteksian keburaman.

*Noise* dapat menyebabkan terganggunya proses *anti-spoofing*, yaitu upaya sistem untuk membedakan antara wajah asli dan wajah tiruan, seperti foto, video, atau topeng. Kehadiran *noise* dapat menutupi atau mengubah karakteristik mikrotekstur dan pola detail pada wajah yang biasanya menjadi indikator utama dalam mendeteksi serangan spoofing. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Cai et al., 2024), akurasi sistem *anti-spoofing* dapat menurun hingga 8% ketika citra wajah yang dianalisis mengandung *noise* dalam tingkat tertentu. Penurunan ini menunjukkan bahwa sistem menjadi lebih rentan terhadap serangan pemalsuan, sehingga memperlemah aspek keamanan dari sistem presensi berbasis pengenalan wajah secara keseluruhan.

*Noise* juga berpengaruh pada metode pendeteksi keburaman pada aplikasi ini. Salah satu kelemahan pada metode pendeteksi keburaman yang digunakan oleh aplikasi ini adalah kepekaannya yang tinggi terhadap *noise*. Saat ini, aplikasi menggunakan metode berbasis Laplacian Filtering, yaitu metode yang memanfaatkan operator turunan kedua untuk menonjolkan tepi pada citra. Berdasarkan buku *Digital Image Processing* (Gonzalez & Woods, 2018), operator turunan kedua sangat sensitif terhadap perubahan intensitas nilai piksel antara satu piksel dengan yang lainnya. Contohya, dua buah piksel yang bertetanggaan, yang satu nilainya 0 dan yang lainnya bernilai 150. Adanya transisi nilai dari satu piksel ke piksel yang lain ini menyebabkan operator ini akan menonjolkan daerah ini sebagai tepi. Permasalahan muncul ketika *noise* muncul pada citra. *Noise* muncul sebagai fluktuasi acak pada nilai intensitas piksel yang tidak mewakili struktur nyata dalam gambar. Akibatnya, operator ini dapat salah menonjolkan *noise* sebagai tepi (Ha & Shin, 2021).

Dalam pengolahan citra digital, khususnya pada gambar yang diambil menggunakan kamera ponsel, dua jenis *noise* yang paling umum dijumpai adalah *noise* Gaussian dan *noise* Poisson (Igual, 2019). *Noise* Gaussian biasanya muncul akibat gangguan acak dari sensor kamera, terutama dalam kondisi pencahayaan rendah atau saat ISO tinggi digunakan. Noise ini bersifat aditif dan tersebar secara merata, sehingga mempengaruhi seluruh piksel dalam citra dengan intensitas yang bervariasi secara acak mengikuti distribusi normal. Sementara itu, *noise* Poisson (juga dikenal sebagai *noise* foton) berkaitan erat dengan sifat kuantum cahaya yang diterima oleh sensor. Jenis *noise* ini bersifat bergantung pada sinyal, artinya tingkat gangguannya meningkat pada area gambar yang lebih terang. Karena kedua jenis *noise* ini berasal dari sifat fisik proses penangkapan gambar, maka pemahaman dan penanganannya sangat penting dalam proses peningkatan kualitas citra digital dari kamera ponsel.

Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk mereduksi noise dalam pemrosesan citra digital adalah dengan menggunakan metode Gaussian Blur. Gaussian Blur merupakan teknik penyaringan low-pass yang efektif dalam mengurangi komponen frekuensi tinggi, seperti *noise* acak, dengan cara menghaluskan citra melalui konvolusi dengan kernel berbentuk distribusi Gaussian. Hal ini memungkinkan perataan berbobot terhadap nilai-nilai piksel di sekitar suatu titik, sehingga fluktuasi acak yang disebabkan oleh noise dapat diminimalkan tanpa mengorbankan detail penting dalam citra (Marr & Hildreth, 1980).

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi performa Gaussian Blur dalam mereduksi *noise* pada citra digital, khususnya Gaussian *noise* dan Poisson *noise*, dengan menggunakan metrik Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Structural Similarity Index Measure (SSIM) sebagai alat ukur. PSNR dipilih karena mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai tingkat kemiripan antara citra hasil pemrosesan dengan citra aslinya dalam aspek intensitas piksel secara keseluruhan. Sementara itu, SSIM digunakan untuk mengukur kemiripan struktural antara dua citra, termasuk informasi luminansi, kontras, dan struktur lokal, yang lebih mencerminkan persepsi visual manusia. Kombinasi kedua metrik ini memungkinkan penilaian yang lebih menyeluruh terhadap efektivitas Gaussian Blur, baik dalam mempertahankan detail citra maupun dalam mereduksi *noise*. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan sejauh mana Gaussian Blur cocok diterapkan dalam aplikasi yang sedang dikembangkan, baik dari segi efisiensi pengurangan *noise* maupun kualitas visual hasil akhirnya.

## Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijabarkan, rumusan masalah yang dapat disimpulkan adalah, Bagaimana efektivitas metode Gaussian Blur dalam mereduksi noise Gaussian dan Poisson pada citra wajah digital untuk meningkatkan kinerja deteksi *anti-spoofing* dan pendeteksi keburaman dalam sistem presensi multifaktor berbasis pengenalan wajah?

## Batasan Masalah

Penelitian memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1.3.1. Citra yang dipakai diambil dari Labeled Faces in the Wild (LFW)

1.3.2. Jenis *noise* yang diteliti adalah *noise Gaussian* dan Poisson*.*

1.3.3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan teknik Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Structural Similarity Index Measure (SSIM)

1.3.4. Pengujian dilakukan dengan memanipulasi ukuran kernel dan nilai sigma pada Gaussian Blur.

1.3.5. Pengujian dilakukan dengan penambahan *noise* aditif terkontrol pada citra wajah yang bersih.

## Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi keefektifan Gaussian Blur dalam mereduksi *noise* Gaussian Poisson.

## Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah,

1.5.1. Meningkatkan Kualitas Citra

1.5.2. Memperoleh konfigurasi optimal Gaussian Blur dalam pereduksian *noise* Gaussian dan *noise* Poisson (konfigurasi berupa ukuran kernel yang digunakan dan nilai sigma)

## Sistematika Penulisan

Laporan/Proposal tugas akhir ini disusun dengan sistematika bagian pertama, terdiri dari empat bab:

* Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah. Tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penelitian. Bab ini menjelaskan persoalan yang dihadapi pada sistem pengenalan wajah, yaitu gambar masukan yang memiliki *noise*, dan solusi yang bisa dipakai, yaitu Gaussian Filter dalam melakukan *denoising.*

* Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Bab II berisi tinjauan pustaka dan landasan teori. Pada bab ini dijabarkan hasil – hasil dari penelitian sebelumnya yang dinilai relevan sehingga dapat menjelaskan lebih lanjut tentang pentingnya penelitian ini. Bab ini juga akan menjelasan mengenai Gaussian Blur, Laplacian of Gaussian, Convolution Filtering, *noise*, *noise* Gaussian, *noise* Poisson, PSNR, dan SSIM.

* Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini membahas proses penelitian dilakukan, dimulai dari pengumpulan data, penambahan *noise* aditif, pengujian data, dan evaluasi hasil.

* Bab IV Implementasi dan Pembahasan

Pembahasan mengenai cara penerapan penelitian, library yang digunakan, algoritma yang dipakai, dan pemaparan hasil penelitian.

* Bab V Kesimpulan dan Saran

Rangkuman dari hasil pembahasan serta saran untuk penelitian yang selanjutnya.

# 

# BAB II

**TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

## Tinjauan Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh (Dharavath, 2014) menunjukkan bahwa tahap *preprocessing* citra wajah memiliki dampak yang signifikan terhadap peningkatan akurasi dalam pengenalan wajah. Dalam penelitian tersebut, mereka menguji berbagai teknik *preprocessing* yang dilakukan sebelum tahap ekstraksi fitur. Teknik-teknik tersebut meliputi *face detection and cropping*, pengubahan ukuran (*resizing*), normalisasi histogram, dan *denoising*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan tahap *preprocessing* menghasilkan akurasi pengenalan wajah yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengolahan tanpa *preprocessing*.

Berdasarkan penelitian oleh (Alisha, et al, 2016), proses *denoising* merupakan tahap penting yang perlu dilakukan karena citra yang ditangkap oleh sensor hampir selalu terkontaminasi oleh *noise*. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti ketidaksempurnaan perangkat keras, gangguan selama proses akuisisi data, serta pengaruh lingkungan sekitar. Oleh karena itu, sebelum citra dianalisis lebih lanjut, perlu dilakukan proses *denoising* untuk meningkatkan kualitas citra. Penelitian ini juga menekankan pentingnya pemilihan metode *denoising* yang tepat, disesuaikan dengan karakteristik jenis *noise* yang ada pada citra.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Peltoketo, 2014a), ditemukan bahwa pengaturan ISO memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat keberadaan *noise* pada citra digital. Penelitian ini melibatkan pengujian terhadap 20 kamera ponsel yang berbeda, dan hasilnya menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai ISO yang digunakan, maka tingkat *noise* yang muncul juga akan semakin meningkat. Temuan ini menegaskan bahwa kondisi pencahayaan rendah yang memerlukan ISO tinggi dapat memperburuk kualitas citra akibat peningkatan *noise*.

Menurut (Igual, 2019), jenis *noise* yang paling umum ditemukan pada citra hasil tangkapan kamera ponsel adalah *noise* Gaussian dan *noise* Poisson. Kedua jenis *noise* ini berkaitan erat dengan proses pengambilan gambar menggunakan sensor digital. *Noise* Gaussian biasanya muncul akibat gangguan acak dari sensor, sedangkan *noise* Poisson berkaitan dengan fluktuasi kuantum dalam proses penangkapan cahaya. Penelitian ini juga menegaskan bahwa peningkatan nilai ISO, yang umumnya digunakan dalam kondisi pencahayaan rendah, secara signifikan memperbesar kemungkinan munculnya kedua jenis *noise* ini pada citra.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nasution, 2021) menemukan bahwa metode Gaussian Blur efektif dalam menghilangkan *noise* pada citra USG. Penelitian tersebut menguji dampak dari tiga metode filter: Mean Filter, Gaussian Filter, dan Median Filter. Hasil penelitian menunjukkan bahwa citra USG yang diolah menggunakan Gaussian Blur menghasilkan citra dengan nilai Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) di atas 30, yang menunjukkan efektivitas metode ini dalam melakukan *denoising* dan meningkatkan kualitas citra.

Pada penelitian lain oleh (Bharati et al., 2021) menyatakan bahwa Gaussian Blur efektif untuk menghilangkan *noise* Gaussian. Selain dari jenis *noise* tersebut, metode ini juga dapat digunakan untuk mereduksi jenis *noise* lainnya, seperti *noise* Salt-and-Pepper, Speckle, dan Uniform*,* meskipun performanya tidak sebagus dalam pengurangan *noise* Gaussian.

Salah satu kelebihan dari Gaussian Blur adalah kompleksitas algoritmanya yang rendah, sehingga memungkinkan pemrosesan citra dilakukan dengan cepat dan efisien (Nainggolan & Khair, 2020). Selain itu, Gaussian Blur juga cukup efektif dalam mereduksi *noise* Gaussian, yaitu jenis *noise* yang memiliki distribusi normal dan sering muncul pada citra digital akibat gangguan elektronik dari sensor kamera. Karena Gaussian Blur menggunakan kernel berbobot yang mengikuti distribusi Gaussian, filter ini secara alami selaras dengan karakteristik *noise* Gaussian, sehingga mampu meredam fluktuasi intensitas yang tidak diinginkan tanpa menghapus terlalu banyak informasi penting dari citra.

Dalam penelitian oleh Raghav Bansal, Gaurav Raj, dan Tanupriya Choudhury, mereka meneliti penerapan Laplacian Filter untuk pendeteksian keburaman citra. Mereka menerapkan Laplacian Filtering pada citra dan menghitung variansinya. Semakin tinggi variansinya, semakin tajam citra tersebut. Berdasarkan penelitian ini, metode ini terbukti efektif dalam mendeteksi blur pada citra. Penelitian lain oleh (Pagaduan et al., 2020) juga menunjukkan bahwa metode ini memiliki tingkat akurasi mencapai 85 persen. Meskipun begitu, Operator Laplacian bersifat sensitif terhadap *noise*. Sebagaimana dijelaskan dalam buku oleh (Gonzalez & Woods, 2018) ,Operator Laplacian merupakan operator turunan kedua yang bekerja dengan cara menonjolkan transisi nilai piksel pada citra. Karena *noise* kerap muncul dalam bentuk transisi acak pada nilai piksel, metode ini akan menonjolkan *noise* pada citra keluarannya.

Penelitian oleh Soeb Aripin, Lukas Sarumaha, dan Mian Nauli Sinaga meneliti penerapan Gaussian Blur pada citra gigi berlubang sebelum dimasukkan ke dalam metode Laplacian. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa penerapan Gaussian Blur menghasilkan keluaran pendeteksi tepi yang baik dan meningkatkan akurasi ketebalan citra gigi berlubang.

## Landasan Teori

**2.2.1. *Noise***

*Noise* adalah gangguan pada gambar yang mempengaruhi nilai piksel - pikselnya. Faktor - faktor yang menyebabkan hal ini bisa terjadi karena lingkungan sekitar, *transmission channel,* dan lain - lain. *Noise* sangat sering terjadi dan hampir tidak bisa dihindari. Pada proses pengenalan gambar, *noise* dapat mengurangi hasil keakuratannya (Fan et al., 2019). Salah satu penyebab *noise* adalah pencahayaan yang rendah, yang memaksa kamera menaikkan nilai ISO. ISO yang tinggi berbanding lurus dengan peningkatan noise, sehingga dapat mempengaruhi kualitas gambar (Peltoketo, 2014b).

**2.2.1.1 *Noise* Gaussian**

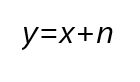
*Noise* Gaussian adalah jenis gangguan acak yang sering muncul dalam citra digital dan sinyal, yang mengikuti distribusi probabilitas normal (kurva Gaussian). Karakteristik utama dari *noise* Gaussian adalah fluktuasi nilai piksel yang terjadi secara acak, dengan rata-rata nilai nol dan distribusi nilai *noise* yang simetris di sekitar nilai rata-rata tersebut. *Noise* Gaussian sering kali muncul pada citra yang diambil dalam kondisi pencahayaan rendah atau dengan pengaturan ISO tinggi, yang membuat sensor lebih sensitif terhadap gangguan acak. Dalam pemrosesan citra, *noise* Gaussian dapat merusak kualitas gambar, dan seringkali perlu diatasi dengan teknik-teknik *denoising*, seperti Gaussian Blur, untuk meningkatkan ketajaman dan kualitas visual citra (Wibowo & Susanto, 2017).

**2.2.1.2 *Noise* Poisson**

*Noise* Poisson, atau sering disebut juga sebagai *noise* foton, adalah jenis gangguan yang umum terjadi pada citra digital yang dihasilkan dari proses penangkapan cahaya, terutama pada perangkat seperti kamera ponsel. *Noise* ini berasal dari sifat kuantum cahaya, di mana jumlah foton yang mencapai sensor selama proses pencitraan bersifat acak dan mengikuti distribusi Poisson. Akibatnya, variasi jumlah foton yang diterima oleh sensor menyebabkan fluktuasi intensitas piksel pada citra yang dihasilkan. Karakteristik utama dari Poisson noise adalah sifatnya yang *signal-dependent*, artinya tingkat *noise* akan meningkat seiring dengan bertambahnya intensitas cahaya yang diterima — semakin terang suatu area pada citra, semakin besar kemungkinan *noise* muncul (Igual, 2019).

**2.2.2. *Denoising***

Proses *denoising* adalah proses untuk menghilangkan *Noise* pada gambar sehingga diperoleh struktur gambar yang sebenarnya. Proses ini tidak bisa dengan sempurna mengembalikan gambar tanpa *noise* dikarenakan sulitnya membedakan detail nilai *piksel* yang asli dan yang bukan*.* Pada kenyataannya, proses ini masih menjadi tantangan dalam dunia matematika (Fan et al., 2019).



Gambar 2. 1 Notasi matematika noise pada gambar

*Sumber: Fan, et al., (2019)*

Secara matematis, proses *denoising* dapat digambarkan dituliskan sebagai *y = x + n.* Penjelasannya sebagai berikut:

*y =* adalah gambar masukan yang mengandung *noise.*

*x =* adalah hasil yang ingin kita cari, yaitu gambar murni tanpa *noise.*

*n =* adalah *noise* yang ada pada gambar.

Pada kenyataannya, solusi untuk nilai *x* adalah unik, artinya setiap metode *denoising* yang dipakai akan menghasilkan hasil *x* yang berbeda pula (Fan et al., 2019). Dengan begitu, dapat disimpulkan teknik – teknik yang ada tidak bertujuan untuk menghilangkan semua *noise* pada gambar, tetapi mengurangi sebanyak mungkin *noise* tanpa mengurangi fitur – fitur pada gambar yang asli.

**2.2.3. Convolution Filtering**

Convolution Filtering adalah metode pemodifikasian citra dengan cara menyesuaikan nilai suatu piksel berdasarkan nilai-nilai piksel tetangganya. Proses ini menggunakan kernel, yaitu sebuah matriks kecil berbentuk grid (biasanya 3×3, 5×5, dst.) yang berisi bobot. Secara visual, kernel akan "digeser" ke seluruh posisi dalam citra, dan pada setiap posisi, ia akan mencakup piksel-piksel di sekitar piksel pusat. Piksel-piksel yang tercakup inilah yang disebut piksel tetangga. Setiap piksel tetangga akan dikalikan dengan bobot yang sesuai di dalam kernel, lalu hasil-hasil perkalian tersebut akan dijumlahkan. Hasil akhir ini kemudian menjadi nilai baru dari piksel pusat tempat kernel berada. Proses ini disebut dengan konvolusi. Proses ini berguna untuk penghalusan, penajaman, pendeteksian tepi, dan lain - lain .(Gazali et al., 2012)

**2.2.4. Laplacian of Gaussian**

Laplacian of Gaussian (LoG) adalah metode deteksi tepi yang menggabungkan dua langkah utama: penghalusan citra menggunakan filter Gaussian dan kemudian penerapan operator Laplacian untuk mendeteksi perubahan intensitas. Pendekatan ini pertama kali diperkenalkan oleh Marr dan Hildreth dalam paper mereka yang berjudul *Theory of Edge Detection*. Filter Gaussian digunakan untuk mengurangi noise dan fluktuasi kecil yang tidak penting dalam citra, sementara operator Laplacian digunakan untuk menyoroti lokasi-lokasi dengan perubahan intensitas yang tajam, yang biasanya menunjukkan keberadaan tepi. Gabungan kedua filter ini menghasilkan deteksi tepi yang lebih stabil dan efektif, terutama dalam citra alami yang memiliki banyak variasi tekstur dan pencahayaan (Marr & Hildreth, 1980).

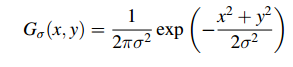
**2.2.5. Gaussian Blur**

Dalam paper (Marr & Hildreth, 1980), mereka menyarankan penggunaan penghalusan citra dengan filter yang memiliki kernel yang nilainya berdasarkan distribusi Gaussian sebelum citra dilakukan pendeteksian tepi. Penggunaan filter ini digunakan untuk mengurangi fluktuasi nilai piksel yang tajam. Kelebihan yang dimiliki filter ini adalah kemampuannya menghaluskan citra secara halus, sehingga mampu mengurangi *noise* namun tetap menjaga detail tepi pada citra. Kelebihan lainnya adalah metode ini merupakan satu-satunya metode filtering yang menghasilkan kurva berbentuk Gaussian baik di domain spasial maupun di domain frekuensi, menjadikannya stabil dan konsisten dalam berbagai pendekatan pemrosesan citra.



Gambar 2. 2 Operator Gaussian 2D

*Sumber: Marr et al. (1980).*



Gambar 2. 3 Operator Gaussian berbasis kartesian

*Sumber: Gonzalez et al. (2008)*

Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 merupakan notasi fungsi Gaussian pada nilai - nilai kernel. Variabel x dan y merupakan koordinat kartesian pada kernel 2 dimensi, dengan bagian tengah kernel sebagai koordinat (0, 0). Fungsi Gaussian menghasilkan nilai yang lebih tinggi untuk titik-titik yang lebih dekat ke pusat dan nilai yang lebih rendah untuk titik-titik yang lebih jauh, mengikuti distribusi berbentuk lonceng. Hal ini menyebabkan bobot pada kernel lebih besar di sekitar pusat dan semakin kecil seiring bertambahnya jarak dari pusat. Parameter σ (sigma) atau simpangan baku berperan dalam mengatur lebar penyebaran distribusi; nilai σ yang lebih besar menghasilkan kernel yang lebih lebar dan lebih halus dalam efek penghalusannya, sedangkan nilai σ yang lebih kecil menghasilkan kernel yang lebih sempit dengan efek penghalusan yang lebih tajam di area lokal.

**2.2.6. Metode Evaluasi**

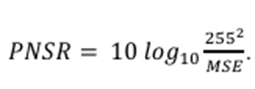
**2.2.6.1. Peak Signal-to-Noise Ration (PSNR)**

Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) adalah metrik yang sering digunakan untuk mengukur kualitas citra atau video yang telah terkompresi atau diproses, dengan cara membandingkan citra asli dan citra hasil pemrosesan. PSNR memberikan indikasi seberapa banyak kerugian informasi yang terjadi selama pemrosesan, misalnya saat mengurangi *noise* atau mengompresi citra (Andono, et al., 2017).

PSNR dihitung dengan menggunakan Mean Squared Error (MSE), yang mengukur rata-rata kuadrat perbedaan antara nilai piksel citra asli dan citra yang diproses. PSNR dihitung dengan rumus berikut:



Gambar 2. 4 Rumus MSE



Gambar 2. 5 Rumus PSNR

fa(i, j) adalah nilai piksel citra asli di posisi i,j

fb(i, j) adalah nilai piksel citra yang telah diproses

M dan N adalah ukuran citra

**2.2.6.2. Structural Similarity Index Measure (SSIM)**

Structural Similarity Index Measure (SSIM) adalah sebuah metrik yang digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antara dua citra, dengan fokus pada aspek persepsi visual manusia. Berbeda dengan metrik konvensional seperti PSNR yang hanya membandingkan perbedaan nilai intensitas piksel, SSIM mempertimbangkan struktur lokal, kontras, dan luminansi dari citra, sehingga mampu memberikan penilaian yang lebih representatif terhadap kualitas visual. SSIM memiliki nilai antara -1 hingga 1, di mana nilai 1 menunjukkan kesamaan struktural yang sempurna antara citra yang dibandingkan. Dalam konteks pemrosesan citra, SSIM sering digunakan untuk mengevaluasi hasil dari teknik kompresi, denoising, atau rekonstruksi citra, karena lebih sesuai dengan cara manusia menilai kualitas gambar. Dengan demikian, SSIM menjadi alat ukur yang sangat berguna dalam menilai sejauh mana detail dan struktur asli citra dapat dipertahankan setelah mengalami proses pemrosesan atau modifikasi (Nilsson & Akenine-Möller, 2020).



*Gambar 2. 6 Rumus SSIM*

*Sumber: Nilsson, Jim 2020*

l(x, y) merepresentasikan luminasi antara citra x dan y

c(x, y) merepresentasikan kontras antara citra x dan y

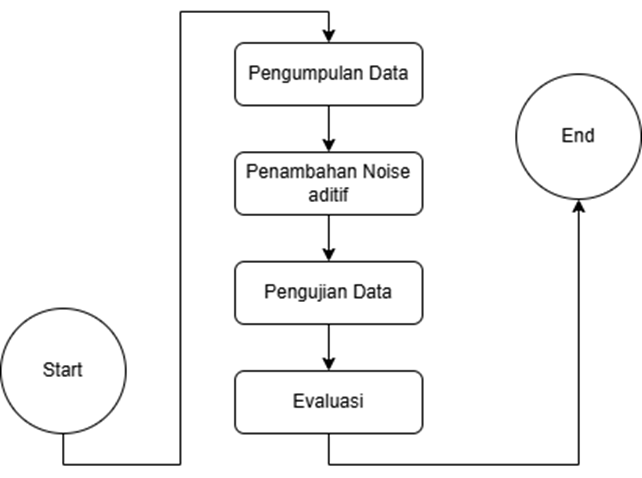
s(x, y) merepresentasikan kemiripan struktural antara citra x dan y

α, β, dan γ mengontrol derajat kepentingan antara ketiga pembanding

# BAB III

**METODOLOGI PENELITIAN**

## Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode Gaussian Blur dalam mereduksi noise aditif pada citra wajah. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir metodologi yang digunakan. Penelitian dimulai dengan tahap pengumpulan data. Data yang dipakai diambil dari dataset yang tersedia secara publik. Data yang akan dipakai adalah Labeled Faces in the Wild (LCF). Tahap selanjutnya adalah penambahan noise aditif terhadap gambar yang asli. Tahap berikutnya adalah pengujian data. Data – data yang sudah diberi noise aditif kemudian di-*denoise* menggunakan Gaussian Blur dengan konfigurasi ukuran kernel dan ukuran sigma yang berbeda-beda. Tahap evaluasi melakukan perhitungan evaluasi berdasarkan metrik PSNR

* + 1. **Pengumpulan Data**

Pada tahap pengumpulan data, penelitian ini menggunakan dataset Labeled Faces in the Wild (LFW) yang merupakan kumpulan citra wajah berlabel yang banyak digunakan dalam penelitian pengenalan wajah. Dataset ini berisi lebih dari 13.000 gambar wajah dari individu yang berbeda, diambil dari berbagai kondisi pencahayaan, pose, dan ekspresi wajah, sehingga mewakili variasi citra yang realistis. Dataset LFW dipilih karena memiliki kualitas dan kompleksitas visual yang sesuai untuk menguji efektivitas metode reduksi *noise*, khususnya Gaussian Blur. Seluruh citra dalam dataset ini akan digunakan sebagai data uji dengan menambahkan *noise* aditif secara terkontrol, guna mensimulasikan gangguan yang umum terjadi pada proses akuisisi citra menggunakan kamera ponsel. Data yang telah ditambahkan *noise* kemudian akan diproses menggunakan Gaussian Blur, dan hasilnya dievaluasi menggunakan metrik PSNR untuk mengukur efektivitas reduksi *noise*.

* + 1. **Penambahan *Noise* Aditif**

Setelah citra diperoleh dari dataset Labeled Faces in the Wild (LFW), langkah berikutnya dalam proses penelitian ini adalah menambahkan *noise* Gaussian dan noise Poisson secara digital pada citra-citra tersebut. Penambahan noise ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi nyata yang sering terjadi dalam proses akuisisi citra menggunakan kamera ponsel, seperti gangguan sensor, pencahayaan rendah, atau pengaturan ISO tinggi. *Noise* Gaussian ditambahkan menggunakan fungsi distribusi normal dengan rata-rata nol (μ = 0) dan varians (σ²) yang dapat disesuaikan untuk merepresentasikan berbagai tingkat gangguan, dengan bantuan pustaka NumPy untuk menghasilkan distribusi acak dan OpenCV **(**cv2**)** untuk manipulasi citra digital. Sementara itu, *noise* Poisson, yang merepresentasikan gangguan akibat fluktuasi jumlah foton yang diterima sensor, ditambahkan menggunakan pustaka Scikit-Image, khususnya melalui fungsi random\_noise() dengan mode *poisson*. Dengan pendekatan ini, proses evaluasi dapat dilakukan secara menyeluruh terhadap performa metode *denoising*, seperti Gaussian Blur, dalam menghadapi berbagai jenis noise yang umum dijumpai dalam citra digital.

Dalam implementasinya, citra asli dikonversi ke format matriks numerik, kemudian vektor noise Gaussian dihasilkan dan ditambahkan ke setiap piksel dalam citra tersebut. Variansi dari *noise* diatur secara bertahap (misalnya σ² = 10, 20, 30, dan seterusnya) untuk menghasilkan beberapa versi citra dengan tingkat gangguan berbeda, yang nantinya digunakan untuk menguji performa Gaussian Blur dalam berbagai skenario. Setelah penambahan noise, citra hasil modifikasi disimpan dan disiapkan untuk tahap pemrosesan selanjutnya, yaitu penerapan filter Gaussian. Dengan pendekatan ini, setiap eksperimen dapat dijalankan secara terkontrol dan berulang, sehingga hasil evaluasi menjadi lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan.

* + 1. **Pengujian Data**

Pada tahap pengujian, citra-citra yang telah diberi *noise* aditif Gaussian maupun *noise* Poisson kemudian diproses menggunakan metode Gaussian Blur dengan berbagai konfigurasi kernel. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan dengan variasi ukuran kernel, seperti 3×3, 5×5, 7×7, dan 9×9, serta variasi nilai sigma (simpangan baku), untuk melihat pengaruh perubahan parameter terhadap efektivitas reduksi noise. Implementasi dilakukan menggunakan pustaka OpenCV dalam bahasa pemrograman Python, melalui fungsi cv2.GaussianBlur(), yang memungkinkan pengguna untuk mengatur ukuran kernel dan nilai sigma secara fleksibel. Setiap konfigurasi filter diterapkan pada citra dengan tingkat noise yang berbeda, baik untuk *noise* Gaussian maupun Poisson. Hasil pemrosesan kemudian dievaluasi untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang menghasilkan kualitas citra terbaik. Dengan membandingkan hasil dari berbagai konfigurasi ini terhadap kedua jenis *noise* tersebut, penelitian bertujuan menemukan parameter optimal yang dapat secara efektif mengurangi gangguan *noise* tanpa menghilangkan detail penting pada citra wajah.

* + 1. **Evaluasi**

Setelah penerapan Gaussian Blur dengan berbagai konfigurasi, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap hasil pemrosesan menggunakan metrik PSNR dan SSIM. Semakin tinggi nilai PSNR, semakin tinggi pula kualitas citra hasil pemrosesan, karena menunjukkan bahwa perbedaan antara citra asli dan citra hasil telah diminimalkan. Sementara itu, SSIM digunakan untuk menilai kesamaan struktur, kontras, dan luminansi antara citra asli dan hasil, sehingga memberikan gambaran yang lebih mendekati persepsi visual manusia. Evaluasi dilakukan dengan menghitung nilai PSNR dan SSIM untuk setiap hasil citra yang telah difilter menggunakan berbagai konfigurasi Gaussian Blur, guna mengetahui pengaruh masing-masing parameter terhadap kualitas akhir. Proses perhitungan kedua metrik ini dilakukan menggunakan pustaka scikit-image (skimage) dalam Python, melalui fungsi peak\_signal\_noise\_ratio() untuk PSNR dan structural\_similarity() untuk SSIM. Hasil dari evaluasi ini kemudian dianalisis untuk menentukan konfigurasi Gaussian Blur yang paling efektif dalam mereduksi *noise* Gaussian dan *noise* Poisson tanpa mengorbankan terlalu banyak detail penting pada citra.

### 

# BAB IV

**IMPLEMENTASI DAN PEMBAHASAN**

## Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, dataset yang digunakan adalah Labeled Faces in the Wild (LFW), yang merupakan kumpulan gambar wajah yang telah diberi label dan sering digunakan dalam penelitian terkait pengenalan wajah. Dataset ini dipilih karena representatif dan banyak digunakan dalam berbagai studi pengenalan wajah serta memiliki variasi kondisi yang sesuai untuk penelitian ini.

**4.1.1. Sumber Dataset**

Dataset LFW dapat diakses secara publik melalui LFW Website. Dataset ini awalnya dikumpulkan oleh University of Massachusetts Amherst untuk tujuan pengenalan wajah dalam situasi dunia nyata, yang mencakup wajah dari berbagai individu yang diambil dari foto-foto di media sosial, acara-acara publik, dan sumber lainnya.

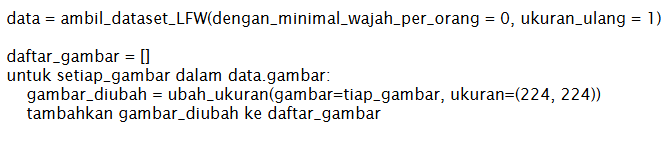
**4.1.2. Ukuran Dataset**

Dataset LFW terdiri dari lebih dari 13.000 gambar wajah yang berasal dari 5.749 individu berbeda. Setiap gambar dalam dataset ini telah diberi label dengan nama orang yang ada pada gambar tersebut, sehingga dataset ini cocok untuk tugas pengenalan wajah berbasis klasifikasi.

* Jumlah Gambar: 13.000+
* Jumlah Individu: 5.749
* Jumlah Citra per Individu: Tergantung pada individu, bisa lebih dari satu citra.

**4.1.3. Akuisisi Dataset**

Pengambilan data dilakukan menggunakan pustaka scikit-learn, yang menyediakan dataset Labeled Faces in the Wild (LFW) secara langsung melalui fungsi fetch\_lfw\_people(). Dataset ini kemudian dimuat sebagai array citra grayscale, dan setiap citra diubah ukurannya menjadi 224x224 piksel menggunakan pustaka pemrosesan citra seperti Pillow atau OpenCV, agar sesuai dengan kebutuhan sistem dan kompatibel dengan model pembelajaran mesin yang umum digunakan.



Gambar 4. 1 Pseudocode Mengambil dataset LFW kemudian di-resize menjadi ukuran 224x224 dan diubah ke greyscale

Gambar 4.1 menjelaskan alur penyiapan dataset citra. Dataset Labeled Faces in the Wild (LFW) diambil menggunakan fungsi fetch\_lfw\_people() dari pustaka scikit-learn, dengan parameter min\_faces\_per\_person=0 agar seluruh citra dalam dataset disertakan. Ukuran gambar awal dipertahankan pada ukuran aslinya (sekitar 250×250 piksel) dengan resize=1, kemudian diubah menjadi 224×224 piksel menggunakan fungsi cv2.resize() dari pustaka OpenCV. Ukuran 224×224 dipilih karena sesuai dengan resolusi standar yang digunakan dalam aplikasi sistem yang menjadi target pengujian dalam penelitian ini, sehingga hasil evaluasi menjadi lebih relevan dengan implementasi nyata.

## Penambahan *Noise* Aditif

Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan noise aditif pada citra untuk mensimulasikan gangguan yang sering terjadi pada proses akuisisi citra di dunia nyata, seperti akibat sensor kamera, pencahayaan buruk, atau transmisi sinyal. Penambahan noise ini bertujuan untuk menguji ketahanan dan performa metode pengolahan citra terhadap gangguan visual yang umum terjadi.

Jenis noise yang digunakan meliputi Gaussian noise dan Poisson noise, yang keduanya termasuk dalam kategori noise aditif. Noise tersebut ditambahkan ke setiap piksel citra dengan karakteristik distribusi probabilistik tertentu untuk menciptakan variasi kondisi input.

Penambahan noise dilakukan menggunakan fungsi random\_noise() dari pustaka scikit-image, dengan parameter mode='gaussian' atau mode='poisson'. Proses ini menghasilkan citra baru dengan tingkat gangguan visual yang dapat dikontrol dan disesuaikan untuk keperluan eksperimen.

Jenis *noise* yang digunakan sebagai berikut:

1. *Noise* Gaussian

*noise* Gaussian merupakan *noise* aditif dengan distribusi normal (Gaussian) yang memiliki rata-rata (mean) nol dan variansi tertentu. *Noise* ini disimulasikan untuk merepresentasikan gangguan acak dari sensor atau lingkungan. Penambahan dilakukan dengan parameter mode='gaussian', dan variansi (parameter var) dapat diatur untuk menentukan intensitas gangguan.

1. *Noise* Poisson

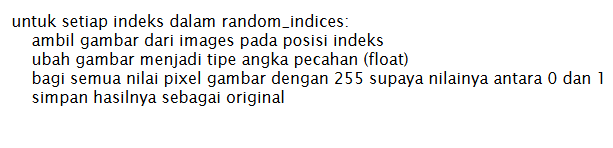
*Noise* Poisson muncul secara alami pada proses pencitraan berbasis foton, seperti pada kamera digital atau pemindaian medis. *Noise* ini bergantung pada nilai piksel itu sendiri dan tidak memiliki parameter varian eksplisit. Penambahan dilakukan dengan mode='poisson'.

4.2.1 Alur Penambahan *Noise* Aditif

Berikut alur penambahan *noise* aditif pada citra:

1. Konversi Citra ke dalam format float32

Konversi dilakukan dengan tujuan supaya bisa diterapkan penambahan *noise* aditif yang mana sesuai dengan persyaratan fungsi random\_noise().



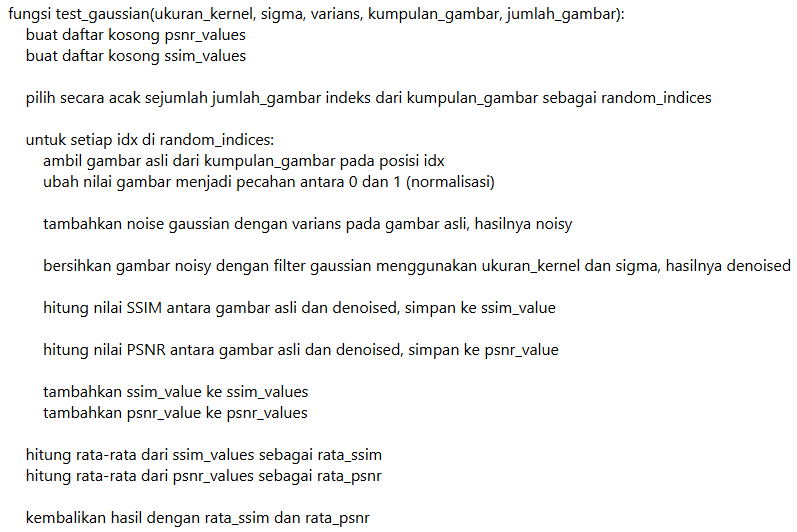
Gambar 4. 2 Pseudocode konversi Citra ke dalam format float32

Gambar 4.2 menjelaskan bagaimana melakukan konversi citra ke dalam format float32. Baris kode original = images[idx].astype(np.float32) / 255.0 digunakan untuk melakukan *preprocessing* terhadap citra sebelum diberi gangguan atau noise. Pada proses ini, citra diambil dari dataset berdasarkan indeks acak yang telah ditentukan sebelumnya, lalu diubah tipe datanya menjadi float32 untuk memungkinkan operasi matematis dengan presisi yang lebih tinggi. Selanjutnya, nilai piksel citra tersebut dinormalisasi ke rentang [0,1] dengan membagi setiap piksel dengan 255.0, karena nilai piksel pada citra digital umumnya berada dalam rentang 0–255. Normalisasi ini penting karena sebagian besar metode penambahan noise, seperti Gaussian noise, bekerja secara optimal pada data yang berada dalam rentang nilai kontinu antara 0 dan 1. Dengan demikian, langkah ini memastikan bahwa penambahan noise dapat dilakukan secara akurat dan sesuai dengan asumsi fungsi-fungsi pemrosesan citra yang digunakan.

## Pengujian

**4.3.1. Pengujian Terhadap *noise* Gaussian**

Pengujian dilakukan setelah seluruh citra wajah dari dataset berhasil diolah dan disesuaikan ukurannya. Tahapan pengujian ini dimulai dengan menambahkan *noise* aditif pada citra-citra yang tersedia. *Noise* yang digunakan adalah *noise* Gaussian, yaitu jenis gangguan yang umum terjadi dalam akuisisi citra digital, terutama karena fluktuasi sensor atau kondisi pencahayaan. Penambahan *noise* ini dilakukan dalam tiga tingkat intensitas berbeda, yaitu tingkat rendah, sedang, dan tinggi, yang masing-masing direpresentasikan oleh nilai variansi sebesar 0.001, 0.01, dan 0.1. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengamati sejauh mana metode *denoising* Gaussian Blur mampu memulihkan kualitas citra yang terganggu pada berbagai kondisi *noise*. Dengan demikian, dapat dievaluasi performa metode terhadap gangguan ringan hingga berat secara sistematis.



Gambar 4. 3 Pseudocode fungsi test\_gaussian untuk menguji peforma Gaussian Blur terhadap reduksi noise Gaussian

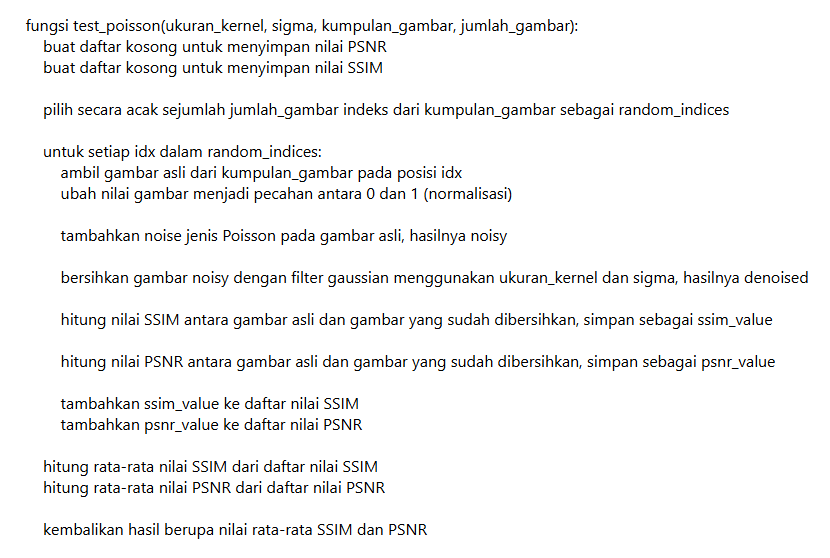
Fungsi test\_gaussian digunakan untuk melakukan pengujian efektivitas metode *denoising* Gaussian Blur terhadap citra-citra wajah yang telah diberikan gangguan berupa *noise* Gaussian. Fungsi ini menerima beberapa parameter masukan, yaitu kumpulan citra (images), ukuran kernel (ksize), nilai deviasi standar Gaussian (sigma), besar varians *noise* (var), serta jumlah sampel citra yang akan diuji (jumlah). Proses pengujian diawali dengan pemilihan sejumlah citra secara acak dari dataset. Masing-masing citra dikonversi ke tipe data float32 dan dinormalisasi ke rentang [0, 1] untuk keperluan perhitungan yang lebih presisi.

Selanjutnya, citra tersebut diberikan *noise* Gaussian dengan varians sesuai parameter var. Setelah itu, citra yang telah diberi *noise* diproses menggunakan Gaussian Blur dengan parameter kernel dan sigma yang ditentukan, menghasilkan citra hasil *denoising*. Untuk menilai kualitas hasil denoising, dua metrik evaluasi digunakan, yaitu PSNR dan SSIM. PSNR digunakan untuk mengukur tingkat kesamaan secara numerik antara citra asli dan citra hasil *denoising*, sementara SSIM mengukur kesamaan struktur secara visual yang meliputi luminansi, kontras, dan struktur tekstur citra.

Nilai PSNR dan SSIM untuk setiap citra disimpan dalam list, dan setelah seluruh sampel diuji, nilai rata-rata dari kedua metrik tersebut dihitung. Fungsi ini akhirnya mengembalikan nilai rata-rata SSIM dan PSNR dalam bentuk Dictionary. Dengan cara ini, performa metode Gaussian Blur dapat dibandingkan secara kuantitatif untuk berbagai kombinasi parameter kernel, sigma, dan tingkat noise yang ditambahkan pada citra.

**4.3.2. Pengujian Terhadap *noise* Poisson**

Pengujian dilakukan setelah seluruh citra wajah dari dataset berhasil diolah dan disesuaikan ukurannya. Pada tahap ini, dilakukan penambahan *noise* bertipe Poisson ke dalam citra-citra yang tersedia. *Noise* Poisson merupakan jenis *noise* yang berkaitan dengan fluktuasi alami dalam proses penghitungan foton selama akuisisi citra, sehingga umum dijumpai pada sistem pencitraan yang menggunakan cahaya rendah atau paparan singkat. Berbeda dengan *noise* Gaussian yang dikendalikan oleh variansi, *noise* Poisson bersifat tergantung pada nilai intensitas piksel itu sendiri. Oleh karena itu, pengujian dilakukan tanpa pengaturan variansi secara eksplisit, namun tetap menggunakan berbagai parameter filter Gaussian seperti ukuran kernel dan nilai sigma untuk mengamati efektivitas proses *denoising*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi seberapa baik metode Gaussian Blur dapat mengurangi gangguan akibat *noise* Poisson dan mengembalikan kualitas citra secara struktural dan visual.



Gambar 4. 4 Pseudocode fungsi test\_poisson untuk menguji peforma Gaussian Blur terhadap reduksi noise Poisson

Fungsi test\_poisson bertujuan untuk menguji efektivitas filter Gaussian dalam mengurangi gangguan *noise* Poisson pada citra. Fungsi ini menerima beberapa parameter, yaitu ukuran kernel filter Gaussian (ksize), nilai sigma untuk filter Gaussian (sigma), kumpulan citra (images), dan jumlah citra yang akan diproses (jumlah).

Proses dimulai dengan memilih sejumlah citra secara acak dari kumpulan citra yang ada, sesuai dengan nilai jumlah yang diberikan. Untuk setiap citra yang dipilih, citra tersebut pertama-tama dikonversi ke tipe data float32 dan dinormalisasi dengan membaginya dengan 255.0, sehingga nilai pixel citra berada dalam rentang [0, 1].

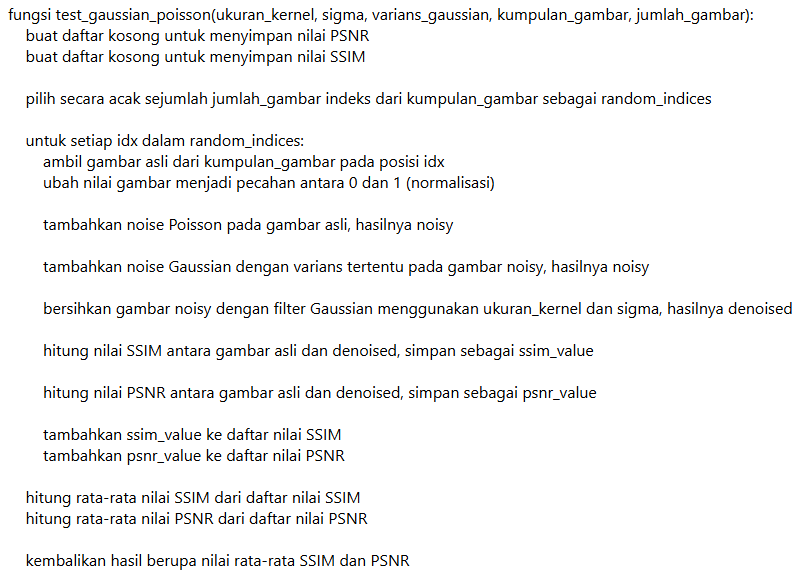
Selanjutnya, citra yang sudah dinormalisasi diberi *noise* Poisson menggunakan fungsi random\_noise dengan mode 'poisson'. *Noise* Poisson sering muncul dalam citra yang diambil di lingkungan dengan cahaya rendah atau pada gambar yang memiliki banyak rincian tekstur halus.

Setelah *noise* Poisson ditambahkan, citra yang telah terkontaminasi *noise* tersebut diproses menggunakan filter Gaussian Blur dengan ukuran kernel (ksize) dan nilai sigma (sigma) yang ditentukan oleh parameter input. Filter ini bertujuan untuk mengurangi *noise* dan memperhalus citra.

Setelah proses *denoising*, citra yang telah di-*denoise* dibandingkan dengan citra asli menggunakan dua metrik kualitas citra: PSNR dan SSIM. Nilai PSNR dan SSIM untuk setiap citra yang diproses dihitung, kemudian dirata-ratakan untuk memberikan hasil keseluruhan dari pengujian. Fungsi ini akhirnya mengembalikan nilai rata-rata PSNR dan SSIM dalam bentuk Dictionary, yang memberikan gambaran tentang seberapa baik filter Gaussian dapat mengurangi noise Poisson pada citra.

**4.3.3. Pengujian Terhadap Gabungan *Noise* Poisson dan Gaussian**

Pengujian terhadap gabungan *noise* Poisson dan Gaussian dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas filter Gaussian dalam mengurangi gangguan yang ditimbulkan oleh *noise* Poisson pada citra. *Noise* Poisson, yang sering ditemukan pada sistem pencitraan dengan cahaya rendah atau paparan singkat, memiliki sifat yang tergantung pada intensitas piksel itu sendiri, berbeda dengan *noise* Gaussian yang dikendalikan oleh variansi. Pada pengujian ini, citra-citra yang telah diolah dan disesuaikan ukurannya diberi tambahan *noise* Poisson dan Gaussian. Selanjutnya, filter Gaussian dengan berbagai parameter, seperti ukuran kernel dan nilai sigma, diterapkan untuk proses denoising. Tujuan dari pengujian gabungan ini adalah untuk mengevaluasi seberapa baik metode Gaussian Blur dapat mengurangi gabungan antara *noise* Poisson dan Gaussian, serta seberapa besar pengaruhnya terhadap kualitas citra baik secara struktural maupun visual.



Gambar 4. 5 Pseudocode fungsi test\_gaussian\_poisson untuk menguji peforma Gaussian Blur terhadap reduksi gabungan noise Poisson dan Gaussian

Fungsi test\_gaussian\_poisson bertujuan untuk menguji efektivitas metode filter Gaussian dalam mengurangi gangguan gabungan dari *noise* Poisson dan Gaussian pada citra. Fungsi ini menerima beberapa parameter, yaitu ukuran kernel filter Gaussian (ksize), nilai sigma untuk filter Gaussian (sigma), variansi untuk noise Gaussian (var), kumpulan citra (images), dan jumlah citra yang akan diproses (jumlah).

Proses dimulai dengan memilih sejumlah citra secara acak dari kumpulan citra yang ada, sesuai dengan nilai jumlah yang ditentukan. Untuk setiap citra yang dipilih, citra tersebut terlebih dahulu dikonversi ke tipe data float32 dan dinormalisasi dengan membaginya dengan 255.0. Kemudian, citra tersebut diberi dua jenis gangguan: pertama, *noise* Poisson yang ditambahkan menggunakan mode 'poisson', diikuti dengan penambahan *noise* Gaussian menggunakan variansi (var) yang diberikan.

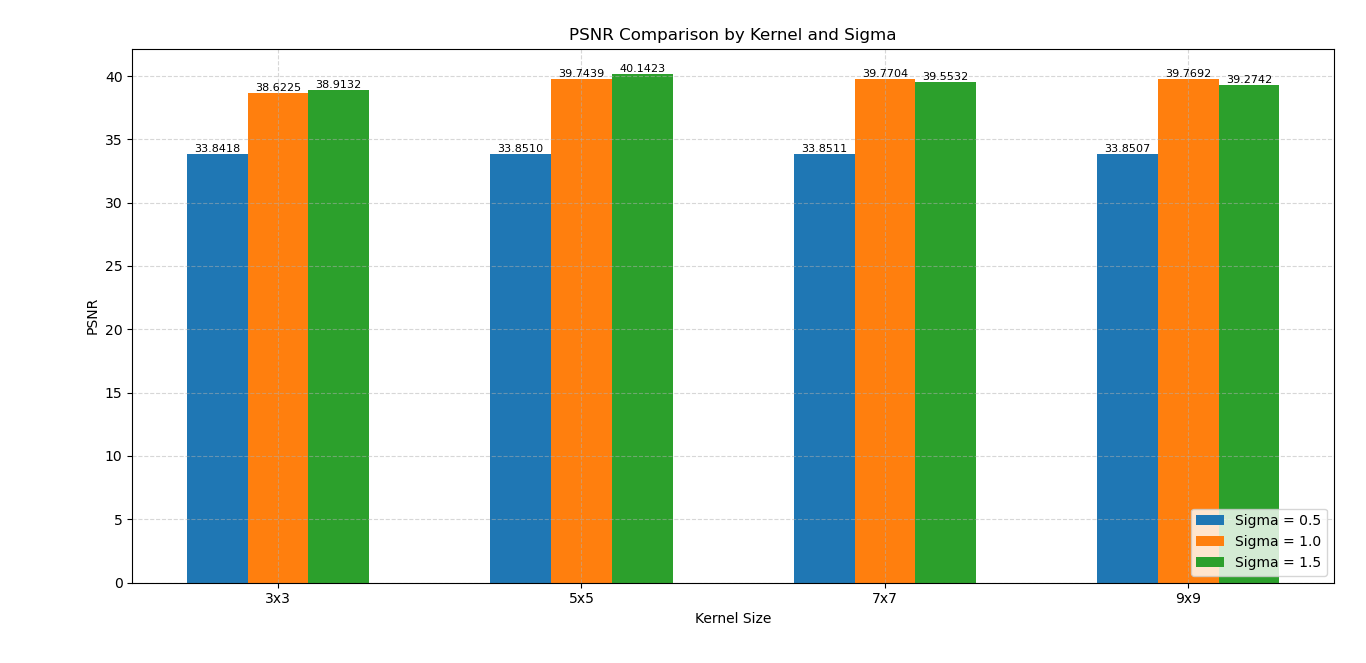
Setelah penambahan *noise*, filter Gaussian Blur diterapkan pada citra yang sudah terkontaminasi noise tersebut, dengan ukuran kernel (ksize) dan nilai sigma (sigma) yang diberikan. Hasil citra yang sudah di-*denoise* kemudian dibandingkan dengan citra asli menggunakan dua metrik kualitas citra: PSNR dan SSIM .Hasil dari PSNR dan SSIM untuk semua citra yang diproses kemudian dirata-ratakan dan dikembalikan sebagai output dalam bentuk Dictionary yang berisi nilai rata-rata PSNR dan SSIM. Fungsi ini berguna untuk mengevaluasi seberapa baik filter Gaussian dapat mengurangi *noise* gabungan dari Poisson dan Gaussian pada citra.

## Evaluasi

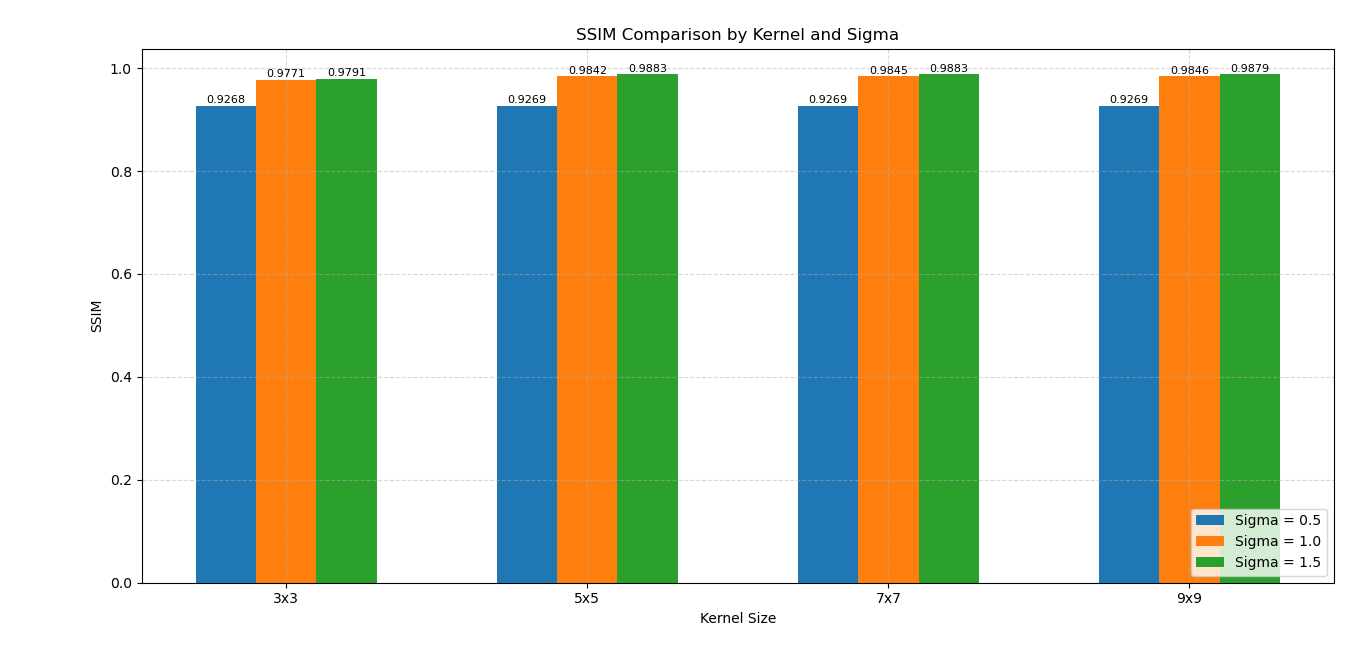
* + 1. **Evaluasi PSNR dan SSIM terhadap *denoising noise* Gaussian**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kernel Size** | **Sigma** | **Variansi *Noise*** | **SSIM** | **PSNR** |
| 3 | 0.5 | 0.001 | 0.926772 | 33.84181 |
| 3 | 0.5 | 0.01 | 0.580676 | 23.9388 |
| 3 | 0.5 | 0.1 | 0.165325 | 15.08318 |
| 3 | 1 | 0.001 | 0.977118 | 38.62255 |
| 3 | 1 | 0.01 | 0.824245 | 28.99332 |
| 3 | 1 | 0.1 | 0.400394 | 19.87754 |
| 3 | 1.5 | 0.001 | 0.979074 | 38.91322 |
| 3 | 1.5 | 0.01 | 0.838774 | 29.3934 |
| 3 | 1.5 | 0.1 | 0.425027 | 20.24873 |
| 5 | 0.5 | 0.001 | 0.92692 | 33.851 |
| 5 | 0.5 | 0.01 | 0.581144 | 23.94748 |
| 5 | 0.5 | 0.1 | 0.165621 | 15.09206 |
| 5 | 1 | 0.001 | 0.984198 | 39.74394 |
| 5 | 1 | 0.01 | 0.879989 | 30.68821 |
| 5 | 1 | 0.1 | 0.509966 | 21.4399 |
| 5 | 1.5 | 0.001 | 0.988266 | 40.14228 |
| 5 | 1.5 | 0.01 | 0.926659 | 32.50278 |
| 5 | 1.5 | 0.1 | 0.646076 | 23.14121 |
| 7 | 0.5 | 0.001 | 0.926919 | 33.8511 |
| 7 | 0.5 | 0.01 | 0.581135 | 23.94704 |
| 7 | 0.5 | 0.1 | 0.165618 | 15.09225 |
| 7 | 1 | 0.001 | 0.984544 | 39.77043 |
| 7 | 1 | 0.01 | 0.883712 | 30.81961 |
| 7 | 1 | 0.1 | 0.518798 | 21.56396 |
| 7 | 1.5 | 0.001 | 0.98828 | 39.55322 |
| 7 | 1.5 | 0.01 | 0.943168 | 33.25349 |
| 7 | 1.5 | 0.1 | 0.712683 | 23.96603 |
| 9 | 0.5 | 0.001 | 0.926918 | 33.85075 |
| 9 | 0.5 | 0.01 | 0.581124 | 23.94698 |
| 9 | 0.5 | 0.1 | 0.165616 | 15.09217 |
| 9 | 1 | 0.001 | 0.984552 | 39.76924 |
| 9 | 1 | 0.01 | 0.88383 | 30.8241 |
| 9 | 1 | 0.1 | 0.519048 | 21.56742 |
| 9 | 1.5 | 0.001 | 0.987927 | 39.27422 |
| 9 | 1.5 | 0.01 | 0.945719 | 33.35767 |
| 9 | 1.5 | 0.1 | 0.725033 | 24.12439 |

Tabel 4. 1 Hasil evaluasi PSNR dan SSIM untuk denoising noise Gaussian



Gambar 4. 6 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel



Gambar 4. 7 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

Gambar 4.6 adalah perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi *noise* tingkat rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Peringkat nilai PSNR tertinggi, di antaranya:

1. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5, dengan nilai PSNR 40.1423
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.0, dengan nilai PSNR 39.7704
3. Kernel 9x9 dengan sigma 1.0, dengan nilai PSNR 39.7692

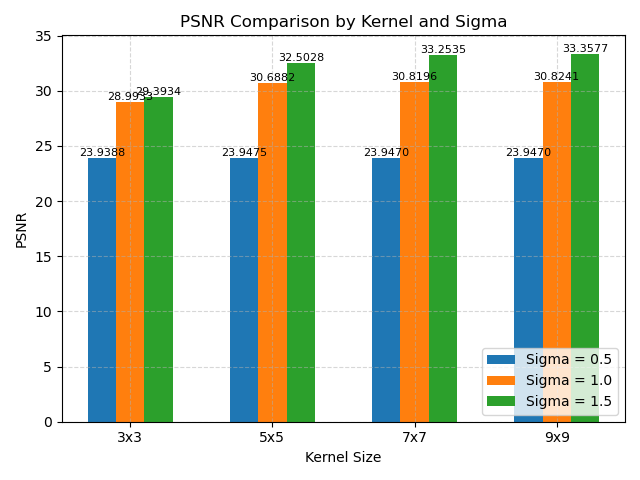
ketiga konfigurasi ini menghasilkan keluaran citra dengan hasil yang baik, dengan PSNR di atas 35 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi ukuran kernel yang lebih besar dengan nilai sigma yang tepat mampu mereduksi *noise* tingkat rendah secara lebih efektif. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 memberikan hasil terbaik karena dapat menangkap detail sekaligus mereduksi *noise* secara optimal. Sementara itu, kernel 7x7 dan 9x9 dengan sigma 1.0 juga menunjukkan performa yang sangat baik, mendekati hasil dari konfigurasi terbaik.

Sebaliknya, konfigurasi dengan sigma 0.5 pada semua ukuran kernel menunjukkan performa yang lebih rendah, dengan PSNR berkisar di angka 33.8 dB. Ini mengindikasikan bahwa nilai sigma yang terlalu kecil kurang mampu mereduksi *noise* secara maksimal, bahkan dengan ukuran kernel yang besar sekalipun.

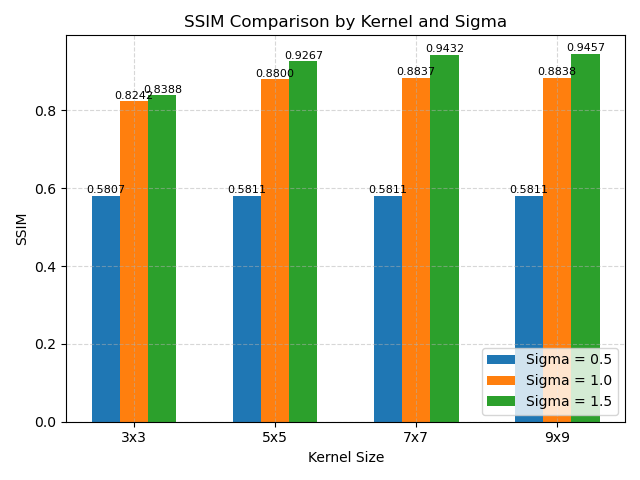
Gambar 4.7 adalah diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi *noise* tingkatrendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Seperti yang didapat dari pembahasan nilai PSNR sebelumnya, nilai sigma yang lebih tinggi (1.5) menghasilkan hasil SSIM yang lebih baik, dengan peringkat:

1. Kernel 7x7 dengan nilai sigma 1.5 menghasilkan SSIM dengan hasil 0.9882802339
2. Kernel 5x5 dengan nilai sigma 1.5 menghasilkan SSIM dengan nilai 0.9882660152
3. Kernel 9x9 dengan nilai sigma 1.5 menghasilkan SSIM dengan nilai 0.9879266412

Nilai SSIM tertinggi diperoleh oleh konfigurasi kernel 7×7 dengan sigma 1.5. Meskipun demikian, selisih nilai SSIM antara ketiga konfigurasi tersebut sangat kecil, menunjukkan bahwa semua konfigurasi tersebut memberikan kualitas struktur citra yang hampir setara setelah proses *denoising*.



Gambar 4. 8 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

**

Gambar 4. 9 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

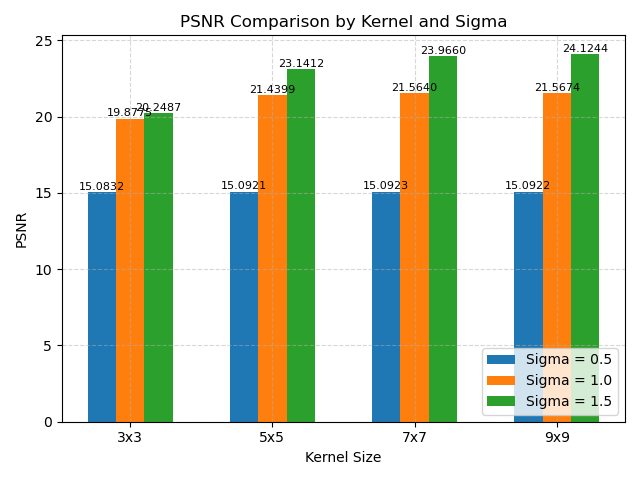
Gambar 4.8 adalah diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Hasil sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR terbesar di seluruh ukuran kernel yang diuji, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 33.357
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 33.2335
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 32.5028

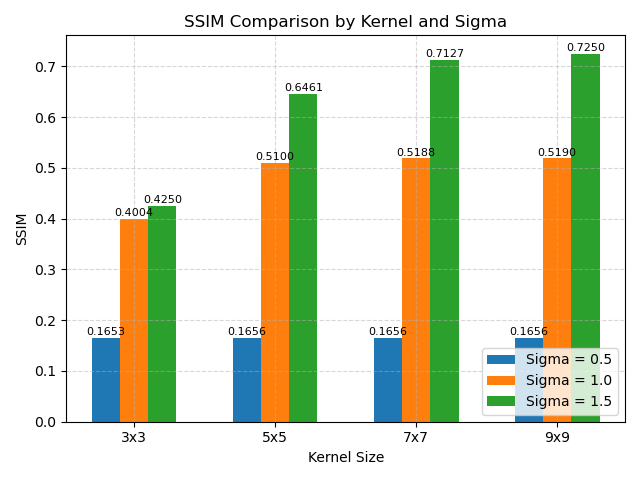
Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR dengan nilai tertinggi. Hal ini juga sama dengan nilai SSIM yang bisa dilihat pada Gambar 4.9, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.9457
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.9432
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.9267

Secara keseluruhan, konfigurasi-konfigurasi dengan sigma 1.5 menunjukkan performa yang sangat baik dalam mereduksi *noise* sedang, dengan nilai PSNR di atas 32 dan SSIM di atas 0.92. Hal ini mengindikasikan bahwa konfigurasi tersebut tidak hanya mampu mengurangi *noise*, tetapi juga mempertahankan kemiripan struktural terhadap citra asli secara efektif.

**

Gambar 4. 10 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

**

Gambar 4. 11 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

Gambar 4.10 adalah diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Hasil sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR terbesar di seluruh ukuran kernel yang diuji, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 24.1244
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 23.9660
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 23.1412

Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR dengan nilai tertinggi. Hal ini juga sama dengan nilai SSIM yang bisa dilihat pada Gambar 4.11, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.7250
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.7127
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.6461

Secara keseluruhan, konfigurasi-konfigurasi dengan sigma 1.5 menunjukkan performa yang buruk dalam mereduksi *noise* tinggi. Nilai SSIM yang relatif rendah ini menandakan bahwa meskipun struktur citra masih dapat dipertahankan sebagian, kualitas hasil pereduksian *noise* tinggi belum optimal. Secara keseluruhan, konfigurasi-konfigurasi dengan sigma 1.5 menunjukkan performa yang kurang memuaskan dalam menangani *noise* tinggi, ditandai dengan nilai PSNR yang berada di bawah 30 dan nilai SSIM yang tidak mencapai 0.75.

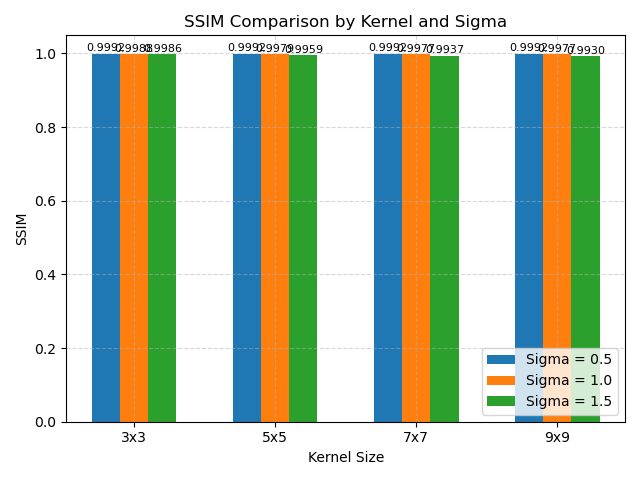
* + 1. **Evaluasi PSNR dan SSIM terhadap *denoising noise* Poisson**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Kernel Size** | **Sigma** | **SSIM** | **PSNR** |
| 3 | 0.5 | 0.999216 | 53.25106 |
| 3 | 1 | 0.998831 | 49.79636 |
| 3 | 1.5 | 0.998593 | 48.93223 |
| 5 | 0.5 | 0.999216 | 53.23925 |
| 5 | 1 | 0.997915 | 46.82828 |
| 5 | 1.5 | 0.995888 | 43.68868 |
| 7 | 0.5 | 0.999216 | 53.23963 |
| 7 | 1 | 0.997744 | 46.41819 |
| 7 | 1.5 | 0.99373 | 41.62551 |
| 9 | 0.5 | 0.999216 | 53.23976 |
| 9 | 1 | 0.997737 | 46.40002 |
| 9 | 1.5 | 0.993004 | 41.0581 |

Tabel 4. 2 Hasil evaluasi PSNR dan SSIM untuk denoising noise Poisson



Gambar 4. 12 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

**

Gambar 4. 13 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

Hasil pengujian performa filter berdasarkan variasi kernel dan nilai sigma terhadap citra tanpa *noise* ditunjukkan pada data di atas. Pada konfigurasi kernel 3x3, nilai PSNR tertinggi dicapai dengan sigma 0.5 sebesar 53.2511, diikuti oleh sigma 1.0 sebesar 49.7964 dan sigma 1.5 sebesar 48.9322. Nilai SSIM untuk ketiga konfigurasi tersebut juga sangat tinggi, masing-masing sebesar 0.9992, 0.9988, dan 0.9986, menandakan bahwa struktur citra tetap sangat terjaga.

Untuk kernel 5x5, nilai PSNR tertinggi kembali diperoleh pada sigma 0.5 yaitu sebesar 53.2392, disusul oleh sigma 1.0 dengan PSNR sebesar 46.8283 dan sigma 1.5 sebesar 43.6887. Nilai SSIM berkisar antara 0.9959 hingga 0.9992, menunjukkan hasil yang sangat baik dalam mempertahankan detail citra.

Konfigurasi kernel 7x7 menunjukkan kecenderungan serupa, dengan PSNR tertinggi sebesar 53.2396 pada sigma 0.5, lalu turun menjadi 46.4182 pada sigma 1.0 dan 41.6255 pada sigma 1.5. Nilai SSIM yang dihasilkan berkisar antara 0.9937 hingga 0.9992, masih dalam rentang yang sangat baik.

Begitu pula pada kernel 9x9, sigma 0.5 menghasilkan PSNR sebesar 53.2398 dengan SSIM sebesar 0.9992, jauh lebih tinggi dibandingkan sigma 1.0 (PSNR 46.4000, SSIM 0.9977) dan sigma 1.5 (PSNR 41.0581, SSIM 0.9930).

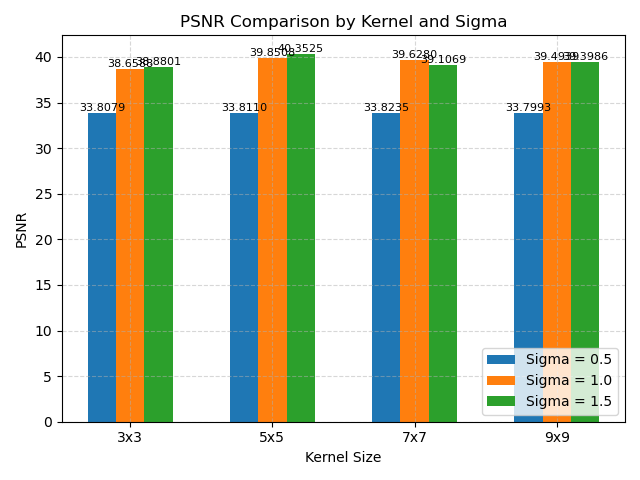
Secara umum, seluruh konfigurasi dengan sigma 0.5 memberikan hasil PSNR dan SSIM tertinggi di masing-masing ukuran kernel. Hal ini menunjukkan bahwa pada citra tanpa *noise* atau dengan *noise* sangat rendah, penggunaan nilai sigma yang kecil lebih efektif dalam mempertahankan kualitas visual citra, dengan detail dan struktur yang tetap terjaga secara optimal.

Terdapat perbedaan antara nilai PSNR dan SSIM pada hasil evaluasi tersebut. Nilai PSNR turun secara drastis diiringi dengan nilai sigma yang semakin turun. Nilai SSIM lebih stabil, dengan hampir semua konfigurasi menghasilkan nilai di atas 0.99. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara matematis kualitas citra menurut PSNR menurun seiring meningkatnya tingkat blur (ditunjukkan oleh nilai sigma yang lebih tinggi), struktur visual citra yang diproses tetap relatif serupa dengan citra aslinya menurut persepsi manusia, sebagaimana direpresentasikan oleh SSIM. Dengan kata lain, PSNR lebih peka terhadap perbedaan piksel-per-piksel, sedangkan SSIM lebih menekankan pada kesamaan struktur dan tampilan umum citra.

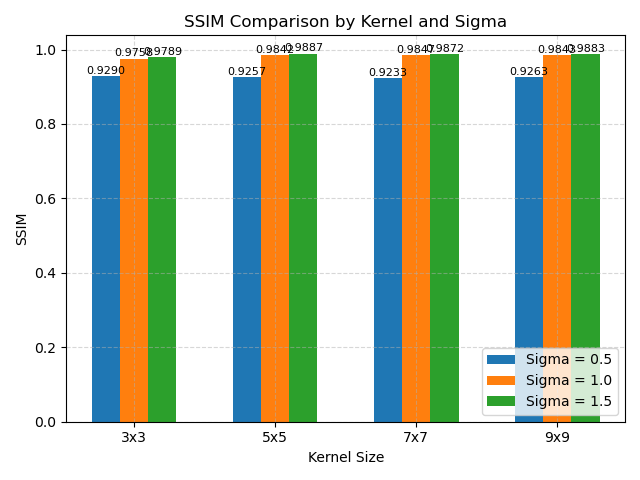
* + 1. **Evaluasi PSNR dan SSIM terhadap *denoising noise* gabungan Poisson dan Gaussian**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kernel Size** | **Sigma** | **Variansi *Noise*** | **SSIM** | **PSNR** |
| 3 | 0.5 | 0.001 | 0.929042 | 33.80788 |
| 3 | 0.5 | 0.01 | 0.580842 | 23.93288 |
| 3 | 0.5 | 0.1 | 0.164614 | 15.10013 |
| 3 | 1 | 0.001 | 0.975813 | 38.65883 |
| 3 | 1 | 0.01 | 0.831001 | 29.03087 |
| 3 | 1 | 0.1 | 0.393111 | 19.89266 |
| 3 | 1.5 | 0.001 | 0.978933 | 38.88011 |
| 3 | 1.5 | 0.01 | 0.839961 | 29.40633 |
| 3 | 1.5 | 0.1 | 0.430989 | 20.19175 |
| 5 | 0.5 | 0.001 | 0.925694 | 33.81095 |
| 5 | 0.5 | 0.01 | 0.572452 | 23.91844 |
| 5 | 0.5 | 0.1 | 0.160614 | 15.06855 |
| 5 | 1 | 0.001 | 0.984228 | 39.85082 |
| 5 | 1 | 0.01 | 0.884336 | 30.69709 |
| 5 | 1 | 0.1 | 0.51713 | 21.40195 |
| 5 | 1.5 | 0.001 | 0.988716 | 40.35248 |
| 5 | 1.5 | 0.01 | 0.92802 | 32.48267 |
| 5 | 1.5 | 0.1 | 0.64962 | 23.1224 |
| 7 | 0.5 | 0.001 | 0.923346 | 33.82348 |
| 7 | 0.5 | 0.01 | 0.590208 | 23.94316 |
| 7 | 0.5 | 0.1 | 0.16804 | 15.06546 |
| 7 | 1 | 0.001 | 0.984665 | 39.62797 |
| 7 | 1 | 0.01 | 0.882877 | 30.83657 |
| 7 | 1 | 0.1 | 0.526873 | 21.59636 |
| 7 | 1.5 | 0.001 | 0.987184 | 39.10687 |
| 7 | 1.5 | 0.01 | 0.939324 | 32.94915 |
| 7 | 1.5 | 0.1 | 0.717379 | 23.89681 |
| 9 | 0.5 | 0.001 | 0.926325 | 33.79926 |
| 9 | 0.5 | 0.01 | 0.565914 | 23.90401 |
| 9 | 0.5 | 0.1 | 0.16237 | 15.08985 |
| 9 | 1 | 0.001 | 0.984266 | 39.49393 |
| 9 | 1 | 0.01 | 0.886155 | 30.78157 |
| 9 | 1 | 0.1 | 0.517589 | 21.55108 |
| 9 | 1.5 | 0.001 | 0.988294 | 39.39864 |
| 9 | 1.5 | 0.01 | 0.943162 | 33.35686 |
| 9 | 1.5 | 0.1 | 0.725415 | 24.05321 |

Tabel 4. 3 Hasil PSNR dan SSIM untuk denoising noise gabungan Gaussian dan Poisson



Gambar 4. 14 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

**

Gambar 4. 15 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

Gambar 4.14 adalah perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi *noise* tingkat rendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Peringkat nilai PSNR tertinggi, di antaranya:

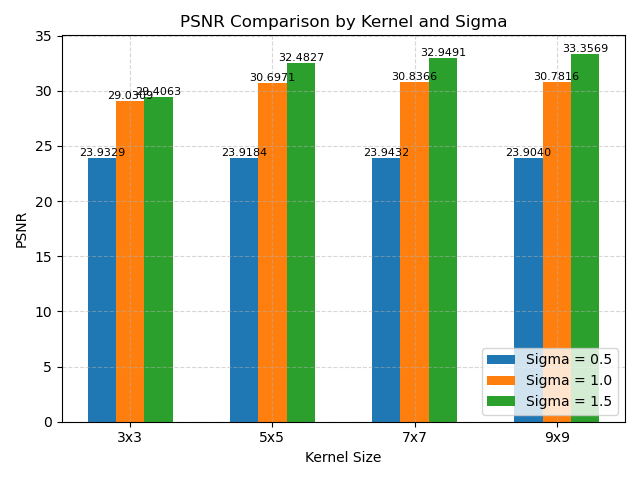
1. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5, dengan nilai PSNR 40.3525
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.0, dengan nilai PSNR 39.6280
3. Kernel 9x9 dengan sigma 1.0, dengan nilai PSNR 39.4939

ketiga konfigurasi ini menghasilkan keluaran citra dengan hasil yang baik, dengan PSNR di atas 35 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi ukuran kernel yang lebih besar dengan nilai sigma yang tepat mampu mereduksi *noise* tingkat rendah secara lebih efektif. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 memberikan hasil terbaik karena dapat menangkap detail sekaligus mereduksi *noise* secara optimal. Sementara itu, kernel 7x7 dan 9x9 dengan sigma 1.0 juga menunjukkan performa yang sangat baik, mendekati hasil dari konfigurasi terbaik.

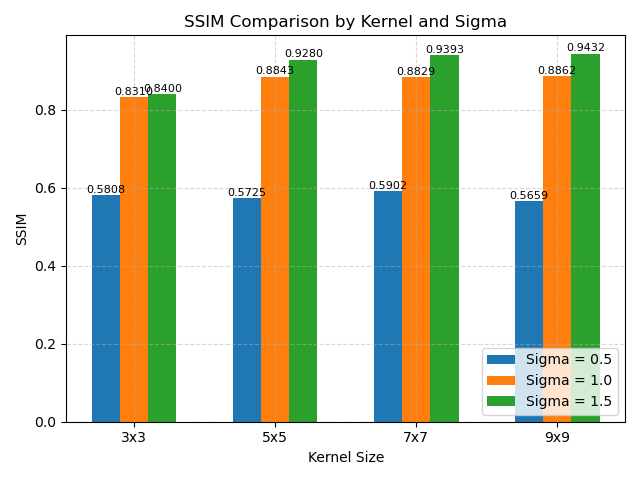
Sebaliknya, konfigurasi dengan sigma 0.5 pada semua ukuran kernel menunjukkan performa yang lebih rendah, dengan PSNR berkisar di angka 33.8 dB. Ini mengindikasikan bahwa nilai sigma yang terlalu kecil kurang mampu mereduksi *noise* secara maksimal, bahkan dengan ukuran kernel yang besar sekalipun.

Gambar 4.15 adalah diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi *noise* tingkatrendah berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Seperti yang didapat dari pembahasan nilai PSNR sebelumnya, nilai sigma yang lebih tinggi (1.5) menghasilkan hasil SSIM yang lebih baik, dengan peringkat:

1. Kernel 5x5 dengan nilai sigma 1.5 menghasilkan SSIM dengan hasil 0.9887162393013712
2. Kernel 9x9 dengan nilai sigma 1.5 menghasilkan SSIM dengan nilai 0.9882938185665818
3. Kernel 7x7 dengan nilai sigma 1.5 menghasilkan SSIM dengan nilai 0.987183813825118

Nilai SSIM tertinggi diperoleh oleh konfigurasi kernel 5×5 dengan sigma 1.5. Meskipun demikian, selisih nilai SSIM antara ketiga konfigurasi tersebut sangat kecil, menunjukkan bahwa semua konfigurasi tersebut memberikan kualitas struktur citra yang hampir setara setelah proses *denoising*.**

Gambar 4. 16 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

**

Gambar 4. 17 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

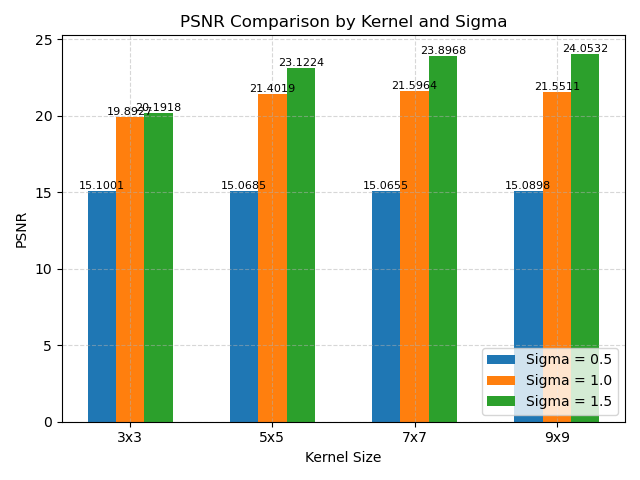
Gambar 4.16 adalah diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Hasil sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR terbesar di seluruh ukuran kernel yang diuji, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 33.3569
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 32.9491
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 32.4827

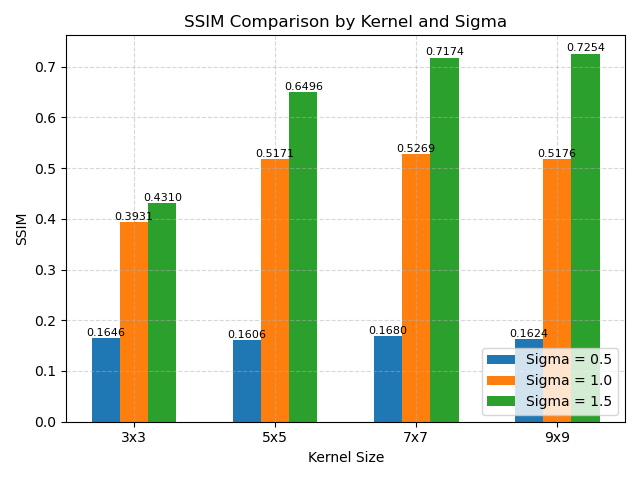
Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR dengan nilai tertinggi. Hal ini juga sama dengan nilai SSIM yang bisa dilihat pada Gambar 4.17, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.9432
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.9393
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.9280

Secara keseluruhan, konfigurasi-konfigurasi dengan sigma 1.5 menunjukkan performa yang sangat baik dalam mereduksi *noise* sedang, dengan nilai PSNR di atas 32 dan SSIM di atas 0.92. Hal ini mengindikasikan bahwa konfigurasi tersebut tidak hanya mampu mengurangi *noise*, tetapi juga mempertahankan kemiripan struktural terhadap citra asli secara efektif.

**

Gambar 4. 18 Diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

**

Gambar 4. 19 Diagram batang perbandingan nilai SSIM dalam mereduksi noise Poisson dan Gaussian tinggi berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel

Gambar 4.18 adalah diagram batang perbandingan nilai PSNR dalam mereduksi noise sedang berdasarkan nilai sigma dan ukuran kernel. Hasil sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR terbesar di seluruh ukuran kernel yang diuji, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 24.0532
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 23.8968
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 23.1224

Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan nilai PSNR dengan nilai tertinggi. Hal ini juga sama dengan nilai SSIM yang bisa dilihat pada Gambar 4.19, dengan peringkat:

1. Kernel 9x9 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.7254
2. Kernel 7x7 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.7174
3. Kernel 5x5 dengan sigma 1.5 menghasilkan PSNR dengan nilai 0.6496

Secara keseluruhan, konfigurasi-konfigurasi dengan sigma 1.5 menunjukkan performa yang buruk dalam mereduksi *noise* tinggi. Nilai SSIM yang relatif rendah ini menandakan bahwa meskipun struktur citra masih dapat dipertahankan sebagian, kualitas hasil pereduksian *noise* tinggi belum optimal. Secara keseluruhan, konfigurasi-konfigurasi dengan sigma 1.5 menunjukkan performa yang kurang memuaskan dalam menangani *noise* tinggi, ditandai dengan nilai PSNR yang berada di bawah 30 dan nilai SSIM yang tidak mencapai 0.75.

## Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap citra yang telah ditambahkan noise aditif Gaussian, Poisson, dan gabungan Gaussian serta Poisson, diperoleh bahwa konfigurasi optimal untuk Gaussian Blur adalah penggunaan kernel berukuran 9x9 dengan nilai sigma sebesar 1.5. Pemilihan konfigurasi ini didasarkan pada performa PSNR dan SSIM yang tertinggi dalam mereduksi noise tingkat sedang hingga tinggi. Nilai PSNR dan SSIM yang dihasilkan dalam pereduksian noise Gaussian dan gabungan Poisson-Gaussian berada di atas 30 dB untuk noise tingkat rendah dan sedang, yang menunjukkan kualitas citra yang baik. Walaupun konfigurasi ini menghasilkan PSNR yang sedikit lebih rendah dibandingkan kernel 3x3 dengan sigma 0.5 dalam mereduksi noise Poisson, hasilnya tetap sangat baik dengan PSNR di atas 40 dB. Untuk noise tingkat tinggi, performa konfigurasi ini menurun dengan nilai PSNR sebesar 24 dB dan SSIM sekitar 0.72. Namun demikian, hasil ini tetap menjadi yang terbaik di antara seluruh konfigurasi yang diuji.

Ukuran kernel paling optimal kedua adalah 5x5 dan 7x7 dengan sigma masing-masing 1.5. Ukuran kernel yang lebih kecil ini dapat menjadi pilihan yang baik apabila ingin menghemat komputasi, karena memberikan performa yang cukup baik dengan waktu proses yang lebih singkat dibandingkan kernel 9x9.

# BAB V

**KESIMPULAN DAN SARAN**

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap citra yang terkontaminasi oleh noise Gaussian, Poisson, serta kombinasi keduanya, dapat disimpulkan bahwa metode Gaussian Blur efektif dalam mereduksi noise dengan tingkat rendah hingga sedang. Konfigurasi Gaussian Blur dengan ukuran kernel 9x9 dan nilai sigma 1.5 terbukti memberikan performa terbaik dalam hal peningkatan kualitas citra, terutama untuk noise Gaussian dan gabungan Gaussian-Poisson, dengan nilai PSNR di atas 30 dB dan SSIM di atas 0.9. Meskipun performanya menurun pada noise tingkat tinggi (PSNR sekitar 24 dB dan SSIM sekitar 0.72), konfigurasi ini tetap menjadi yang paling optimal dibanding konfigurasi lainnya.

Selain itu, ukuran kernel 5x5 dan 7x7 dengan sigma 1.5 juga menunjukkan performa yang sangat baik dan menjadi opsi paling optimal kedua. Penggunaan kernel yang lebih kecil ini dapat dipilih untuk menghemat waktu komputasi, dengan hasil pereduksian noise yang masih memadai. Dengan demikian, penelitian ini berhasil mencapai tujuannya yaitu mengevaluasi keefektifan Gaussian Blur serta memperoleh konfigurasi optimal yang dapat meningkatkan kualitas citra digital melalui pereduksian noise, sekaligus memberikan alternatif konfigurasi yang seimbang antara kualitas dan efisiensi komputasi.

## Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan Adaptive Gaussian Blur

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menerapkan metode Adaptive Gaussian Blur, di mana ukuran kernel dan nilai sigma disesuaikan secara lokal terhadap karakteristik citra. Pendekatan ini berpotensi meningkatkan efektivitas pereduksian noise, terutama pada citra dengan distribusi *noise* yang tidak merata, serta mempertahankan lebih banyak detail penting seperti tepi dan tekstur halus.

1. Pengujian pada Dataset yang Lebih Luas

Disarankan untuk menggunakan lebih banyak citra dari berbagai jenis (misalnya citra medis, satelit, atau citra alami) agar hasil evaluasi lebih general dan dapat diterapkan dalam konteks yang lebih luas.

# DAFTAR PUSTAKA

Bharati, S., Khan, T. Z., Podder, P., & Hung, N. Q. (2021). A Comparative Analysis of Image Denoising Problem: Noise Models, Denoising Filters and Applications. In A. E. Hassanien, A. Khamparia, D. Gupta, K. Shankar, & A. Slowik (Eds.), *Cognitive Internet of Medical Things for Smart Healthcare* (Vol. 311, pp. 49–66). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-55833-8\_3

Cai, R., Zhang, L., Chen, C., Hu, Y., & Kot, A. (2024). Learning deep forest for face anti-spoofing: An alternative to the neural network against adversarial attacks. *Electronic Research Archive*, *32*(10), 5592–5614. https://doi.org/10.3934/era.2024259

Dharavath, K. (2014). Improving Face Recognition Rate with Image Preprocessing. *Indian Journal of Science and Technology*, *7*(8), 1170–1175. https://doi.org/10.17485/ijst/2014/v7i8.26

Fan, L., Zhang, F., Fan, H., & Zhang, C. (2019). Brief review of image denoising techniques. *Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art*, *2*(1), 7. https://doi.org/10.1186/s42492-019-0016-7

Gazali, W., Soeparno, H., & Ohliati, J. (2012). *PENERAPAN METODE KONVOLUSI DALAM PENGOLAHAN CITRA DIGITAL*.

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing*. Pearson.

Ha, W., & Shin, C. (2021). Seismic Random Noise Attenuation in the Laplace Domain Using Singular Value Decomposition. *IEEE Access*, *9*, 62029–62037. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3074648

Igual, J. (2019). Photographic Noise Performance Measures Based on RAW Files Analysis of Consumer Cameras. *Electronics*, *8*(11), 1284. https://doi.org/10.3390/electronics8111284

Marr, D., & Hildreth, E. (1980). Theory of edge detection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, *207*(1167), 187–217. https://doi.org/10.1098/rspb.1980.0020

Nainggolan, S. Y., & Khair, U. (2020). *PENINGKATAN KUALITAS CITRA MRI SCAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAUSSIAN FILTER*.

Nasution, I. F. (2021). *PENINGKATAN KUALITAS CITRA DENGAN METODE FILTER GAUSSIAN, MEAN DAN MEDIAN UNTUK REDUKSI NOISE PADA CITRA ULTRASONOGRAPHY*.

Nilsson, J., & Akenine-Möller, T. (2020). *Understanding SSIM* (No. arXiv:2006.13846). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.13846

Pagaduan, R. A., R. Aragon, Ma. C., & Medina, R. P. (2020). iBlurDetect: Image Blur Detection Techniques Assessment and Evaluation Study: *Proceedings of the International Conference on Culture Heritage, Education, Sustainable Tourism, and Innovation Technologies*, 286–291. https://doi.org/10.5220/0010307702860291

Peltoketo, V.-T. (2014a). *Mobile phone camera benchmarking: Combination of camera speed and image quality* (S. Triantaphillidou & M.-C. Larabi, Eds.; p. 90160F). https://doi.org/10.1117/12.2034348

Peltoketo, V.-T. (2014b). *Mobile phone camera benchmarking: Combination of camera speed and image quality* (S. Triantaphillidou & M.-C. Larabi, Eds.; p. 90160F). https://doi.org/10.1117/12.2034348

Senapartha, I. K. D., & Tamtama, G. I. W. (2023). *RANCANG BANGUN SISTEM ANTI-SPOOF WAJAH PADA PERANGKAT BERGERAK BERBASIS MOBILENET*. Institut Teknologi Indonesia. https://www.researchgate.net/publication/368307840

Wibowo, S. H., & Susanto, F. (2017). PENERAPAN METODE GAUSSIAN SMOOTHING UNTUK MEREDUKSI NOISE PADA CITRA DIGITAL. *JURNAL MEDIA INFOTAMA*, *12*(2). https://doi.org/10.37676/jmi.v12i2.416

# LAMPIRAN A

**KODE SUMBER PROGRAM**

Masukkan kode sumber program di sini.

**import** numpy **as** np

**def** incmatrix**(**genl1**,**genl2**):**

m **=** **len(**genl1**)**

n **=** **len(**genl2**)**

M **=** **None** #to become the incidence matrix

VT **=** np**.**zeros**((**n**\***m**,**1**),** **int)** #dummy variable

#compute the bitwise xor matrix

M1 **=** bitxormatrix**(**genl1**)**

M2 **=** np**.**triu**(**bitxormatrix**(**genl2**),**1**)**

**for** i **in** **range(**m**-**1**):**

**for** j **in** **range(**i**+**1**,** m**):**

**[**r**,**c**]** **=** np**.**where**(**M2 **==** M1**[**i**,**j**])**

**for** k **in** **range(len(**r**)):**

VT**[(**i**)\***n **+** r**[**k**]]** **=** 1**;**

VT**[(**i**)\***n **+** c**[**k**]]** **=** 1**;**

VT**[(**j**)\***n **+** r**[**k**]]** **=** 1**;**

VT**[(**j**)\***n **+** c**[**k**]]** **=** 1**;**

**if** M **is** **None:**

M **=** np**.**copy**(**VT**)**

**else:**

M **=** np**.**concatenate**((**M**,** VT**),** 1**)**

VT **=** np**.**zeros**((**n**\***m**,**1**),** **int)**

**return** M

# LAMPIRAN B

**KARTU KONSULTASI DOSEN 1**

Masukkan scan kartu konsultasi dosen 1 di sini.

# LAMPIRAN C

**KARTU KONSULTASI DOSEN 2**

Masukkan scan kartu konsultasi dosen 2 di sini.

# LAMPIRAN D

**LAMPIRAN LAIN-LAIN**

Masukkan lampiran lain-lain di sini.