

Implementasi dan Analisa Image Scalling Menggunakan Bilinier Interpolation pada Citra Kendaraan

*Implementation and Analysis of Image Scaling using Bilinear Interpolation on
Vehicle Images*

Fahmi Ramadhan*¹

¹Teknik Informatika, Universitas Harapan Medan

E-mail: 1fahmiramadhan41@gmail.com

Abstrak

Pengolahan citra digital merupakan salah satu bidang penting dalam ilmu komputer, khususnya dalam hal manipulasi dan transformasi gambar untuk keperluan analisis maupun visualisasi. Salah satu teknik dasar yang umum digunakan adalah image scaling, yaitu proses memperbesar atau memperkecil ukuran citra. Penelitian ini mengimplementasikan metode bilinear interpolation untuk melakukan scaling pada citra kendaraan, serta mengevaluasi kualitas hasilnya menggunakan dua parameter kuantitatif, yaitu Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) dan Mean Squared Error (MSE). Pengujian menunjukkan bahwa semakin ekstrem proses downscaling dilakukan, semakin rendah kualitas hasil citra (nilai PSNR turun dan MSE meningkat). Sebaliknya, proses upscaling cenderung menghasilkan nilai PSNR yang lebih baik namun tetap terbatas dalam menjaga ketajaman detail. Kesimpulannya, metode bilinear interpolation dapat diterapkan dengan baik untuk scaling citra kendaraan dalam skala ringan hingga sedang. Evaluasi menggunakan PSNR dan MSE memberikan gambaran kuantitatif yang jelas terhadap degradasi citra akibat proses scaling. Aplikasi ini dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem pengolahan citra lainnya, seperti deteksi objek, klasifikasi kendaraan, maupun sistem pengawasan berbasis visual.

Kata kunci: Pengolahan citra digital, bilinear interpolation, image scaling, PSNR, MSE, Visual Studio

Abstract

Digital image processing is an essential area in computer science, particularly in manipulating and transforming images for analysis and visualization purposes. One of the fundamental techniques is image scaling, which involves enlarging or reducing the dimensions of an image. The tests indicate that extreme downscaling leads to a significant decrease in image quality, reflected by lower PSNR and higher MSE. In contrast, moderate upscaling tends to preserve more visual quality, although it cannot enhance image details beyond the original resolution. In conclusion, the bilinear interpolation method can be effectively applied for image scaling in light to moderate scenarios. The evaluation using PSNR and MSE provides a clear quantitative insight into image degradation caused by scaling. This application can serve as a foundation for further development in image

processing systems, such as object detection, vehicle classification, or visual surveillance systems.

Keywords: *Digital image processing, bilinear interpolation, image scaling, PSNR, MSE, Visual Studio*

1. PENDAHULUAN

Dalam era transformasi digital saat ini, pengolahan citra digital telah menjadi bidang penting yang diterapkan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk sistem pengawasan lalu lintas, deteksi kendaraan, dan keamanan publik. Salah satu teknik dasar dalam pengolahan citra adalah image scaling atau resizing, yaitu proses mengubah dimensi gambar tanpa mengubah isi informasinya. Teknik ini menjadi krusial terutama pada tahap pre-processing sebelum dilakukan analisis atau klasifikasi lanjutan [1] arif. Pengubahan ukuran citra sangat memengaruhi kualitas visual serta efisiensi sistem. Apabila proses scaling tidak dilakukan dengan metode yang tepat, maka informasi penting pada citra dapat hilang atau mengalami distorsi. Oleh karena itu, penggunaan metode interpolasi yang tepat sangat penting agar kualitas citra tetap terjaga setelah perubahan ukuran [2] dewi.

Salah satu metode interpolasi yang banyak Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas bilinear interpolation dalam mempertahankan kualitas citra kendaraan setelah proses scaling. Seperti Post-processing dilakukan untuk interpretasi atau pengambilan keputusan berdasarkan hasil olahan (Putra et al., 2022) [3]. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem pengolahan citra kendaraan, baik untuk kebutuhan pengawasan lalu lintas, pengenalan kendaraan otomatis, maupun sistem klasifikasi berbasis citra.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Terdapat beberapa metode yang dijadikan sebagai sumber tinjauan untuk membuat aplikasi ini berjalan dengan efektif.

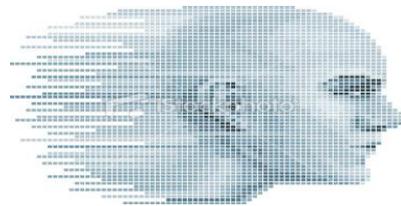
2.1. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital (digital image processing) adalah proses pemrosesan sinyal visual dalam bentuk gambar digital menggunakan komputer. Tujuan dari pengolahan citra adalah untuk meningkatkan kualitas visual, mengekstraksi informasi penting, atau melakukan transformasi pada citra agar sesuai dengan kebutuhan analisis lebih lanjut. Citra digital berbeda dengan citra analog karena berbentuk matriks diskret yang terdiri dari piksel. Setiap citra digital tersusun atas elemen terkecil yang disebut piksel (picture element), di mana setiap piksel menyimpan nilai intensitas (untuk citra grayscale) atau nilai warna (untuk citra RGB). Nilai-nilai ini direpresentasikan dalam format numerik,

sehingga memungkinkan untuk dilakukan manipulasi atau transformasi secara komputasional [4] munir.

2.2. Pixel

Citra digital tersusun dari sekumpulan pixel-pixel yang mana setiap pixel merepresentasikan warna yang membentuk citra tersebut. Menurut *Jonathan Sachs* pixel seperti partikel-partikel kecil yang disusun dalam sebuah pola baris dan kolom yang menyimpan informasi tertentu. Pada dasarnya pixel menyimpan informasi intensitas warna yang membentuk citra, dapat dikatakan bahwa pixel merupakan sel penyusun citra yang memancarkan informasi berupa warna yang dikandungnya sehingga membentuk pola pada citra yang dapat ditangkap oleh mata manusia.



Gambar 1. Ilustrasi Pixel

2.3. Resolusi Citra

Resolusi citra merupakan tingkat detail suatu citra. Semakin tinggi resolusi citra maka akan semakin tinggi pula tingkat detail dari citra tersebut. Satuan dalam pengukuran resolusi citra dapat berupa ukuran fisik (jumlah garis per mm/ jumlah garis per inchi) ataupun dapat juga berupa ukuran citra menyeluruh (jumlah garis per tinggi citra). Resolusi sebuah citra dapat diukur dengan berbagai cara sebagai berikut.

1. Resolusi pixel.

Resolusi pixel merupakan perhitungan jumlah pixel dalam sebuah citra digital. Sebuah citra dengan tinggi N pixel dan lebar M pixel berarti memiliki resolusi sebesar $M \times N$. Resolusi pixel akan memberikan dua buah angka integer yang secara berurutan akan mewakili jumlah pixel lebar dan jumlah pixel tinggi dari citra tersebut.

2. Resolusi Spasial.

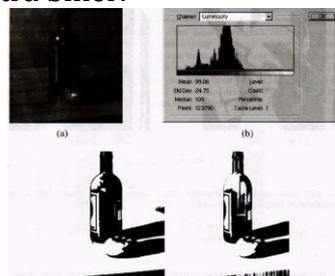
Resolusi spasial menunjukkan seberapa dekat jarak setiap garis pada citra. Jarak tersebut tergantung dari sistem yang menciptakan citra tersebut. Resolusi spasial menghasilkan jumlah pixel per satuan panjang. Resolusi spasial dari sebuah monitor komputer adalah 72 hingga 100 garis per inchi atau dalam resolusi pixel 72 hingga 100 ppi.

2.4. Jenis Citra

Nilai suatu pixel memiliki nilai dalam rentang tertentu, dari nilai minimum sampai nilai maksimum. Jangkauan yang digunakan berbeda-beda tergantung dari jenis warnanya. Namun secara umum jangkauannya adalah 0 – 255. Citra dengan penggambaran seperti ini digolongkan ke dalam citra integer. Berikut adalah jenis-jenis citra berdasarkan nilai pixelnya.

1. Citra Biner.

Citra biner adalah citra digital yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai pixel yaitu hitam dan putih. Citra biner juga disebut sebagai citra B&W (*black and white*) atau Citra monokrom. Hanya dibutuhkan 1 bit untuk mewakili nilai setiap pixel dari citra biner.



Gambar 2. Citra Biner

2. Citra Grayscale.

Citra *grayscale* merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pixelnya, dengan kata lain nilai bagian RED = GREEN = BLUE. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki adalah warna dari hitam, keabuan, dan putih. Tingkat keabuan disini merupakan warna abu dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga mendekati putih.



Gambar 3. Citra Grayscale

3. Citra Warna.

Citra warna merupakan citra yang setiap pikselnya merupakan warna dari kombinasi tiga warna dasar yaitu Red, Green, dan Blue. Setiap warna dasar menggunakan penyimpanan 8 bit = 1 byte, yang berarti setiap warna mempunyai gradasi sebanyak 255 warna. Jenis citra ini dinamakan *true color*

karena mempunyai jumlah warna yang cukup besar sehingga bisa dikatakan hampir mencakup semua warna di alam.



Gambar 4. Citra Warna

2.5. Image Scalling

Image scaling adalah proses untuk mengubah dimensi atau ukuran suatu citra digital, baik dengan memperbesar (upscaling) maupun memperkecil (downscaling) jumlah pikselnya. Proses ini merupakan salah satu tahap penting dalam pengolahan citra digital, terutama dalam proses pre-processing sebelum citra digunakan untuk deteksi, klasifikasi, atau analisis lebih lanjut. Scaling banyak digunakan dalam sistem pengenalan wajah, deteksi objek, pengolahan citra satelit, dan sistem navigasi kendaraan. Misalnya, dalam sistem pengenalan plat nomor kendaraan, citra kendaraan dari berbagai sudut dan jarak harus disamakan ukurannya agar dapat dianalisis oleh model secara konsisten [5].

Sebaliknya, upscaling sering dilakukan jika model atau sistem membutuhkan ukuran minimum tertentu untuk pengolahan [6]. Sedangkan pada downscaling, piksel-piksel tertentu akan dihapus atau dirata-ratakan, sehingga perlu diperhatikan agar tidak kehilangan fitur penting dari citra [7].

2.6. Interpolasi Citra

Interpolasi citra merupakan teknik penting dalam pengolahan citra digital yang digunakan untuk memperkirakan nilai piksel baru pada posisi tertentu berdasarkan nilai-nilai piksel di sekitarnya. Teknik ini sangat dibutuhkan dalam proses image scaling, rotasi, transformasi geometri, dan perbesaran citra digital. Beberapa metode interpolasi yang umum digunakan dalam pengolahan citra digital antara lain:

1. Nearest Neighbor Interpolation

Metode ini adalah teknik interpolasi paling sederhana, yaitu dengan mengambil nilai dari piksel tetangga terdekat. Kelebihan metode ini adalah kecepatan proses yang sangat tinggi karena tidak melibatkan perhitungan yang kompleks. Namun, hasil citra sering kali terlihat kasar atau berbentuk blok, sehingga kurang cocok untuk kebutuhan visual detail tinggi.

2. Bilinear Interpolation

Metode ini menghitung nilai piksel baru berdasarkan rata-rata bobot dari empat piksel tetangga terdekat secara horizontal dan vertikal. Hasil

interpolasi bilinear cenderung lebih halus daripada nearest neighbor karena mempertimbangkan gradasi perubahan intensitas di antara piksel-piksel sekitar. Metode ini menjadi pilihan populer untuk scaling karena memberikan keseimbangan antara kualitas dan kecepatan.

3. Bicubic Interpolation

Merupakan metode interpolasi lanjutan yang menggunakan hingga 16 piksel tetangga dalam proses perhitungan. Bicubic interpolation menghasilkan citra dengan tepi lebih halus dan gradasi lebih natural, tetapi membutuhkan waktu komputasi lebih lama dibandingkan bilinear. Oleh karena itu, bicubic biasanya digunakan jika kualitas sangat diutamakan [8].

2.7. Bilinier Interpolation

Bilinear interpolation adalah salah satu metode interpolasi yang digunakan untuk memperkirakan nilai piksel baru dalam proses scaling atau transformasi citra digital. Metode ini menghitung nilai piksel baru berdasarkan empat piksel tetangga terdekat pada arah horizontal dan vertikal. Berbeda dengan nearest neighbor yang hanya mempertimbangkan satu piksel terdekat, bilinear interpolation memberikan hasil yang lebih halus dan natural karena menghitung rata-rata bobot piksel-piksel di sekitarnya.

2.8. Peak Signal to Noise Ration (PSNR)

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) merupakan salah satu parameter evaluasi kualitas citra yang paling banyak digunakan dalam bidang pengolahan citra digital, termasuk pada penelitian steganografi. PSNR berfungsi untuk mengukur tingkat kemiripan antara citra asli dan citra hasil penyisipan pesan dengan menghitung rasio maksimum nilai sinyal (intensitas piksel) terhadap derau atau gangguan yang dihasilkan oleh proses modifikasi citra. Nilai PSNR dinyatakan dalam satuan desibel (dB), dan semakin tinggi nilainya, maka semakin baik kualitas citra stego karena perubahan yang terjadi semakin kecil dan tidak terdeteksi secara visual [9].

2.9. Mean Squared Error (MSE)

Mean Squared Error (MSE) merupakan salah satu metrik kuantitatif yang paling sering digunakan untuk mengevaluasi kualitas citra digital. MSE mengukur rata-rata dari kuadrat selisih antara nilai intensitas piksel pada citra asli (cover image) dan citra hasil penyisipan pesan (stego image). Metrik ini memberikan informasi seberapa besar perbedaan numerik yang terjadi setelah proses modifikasi citra, yang dalam konteks steganografi menunjukkan tingkat distorsi akibat penyisipan data [10].

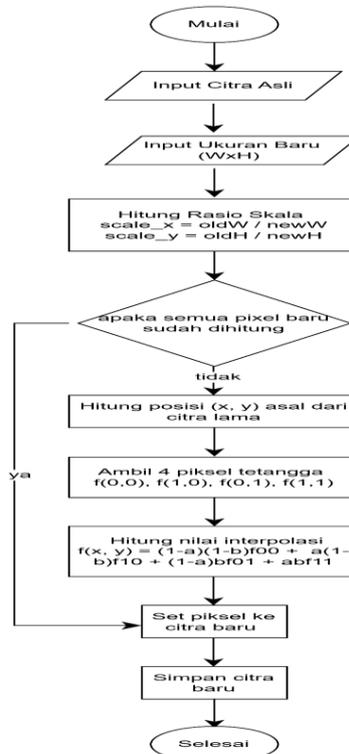
2.10. Microsoft Visual Studio .Net 2019

Microsoft Visual Studio .NET 2019 adalah salah satu lingkungan pengembangan perangkat lunak terintegrasi (Integrated Development

Environment/IDE) yang dikembangkan oleh Microsoft. Visual Studio mendukung berbagai bahasa pemrograman seperti Visual Basic .NET, C#, C++, dan F#, serta menyediakan antarmuka yang lengkap untuk membangun, menjalankan, dan menguji aplikasi berbasis desktop, web, cloud, maupun mobile. Dalam konteks penelitian dan pengembangan perangkat lunak steganografi, Visual Studio .NET 2019 memberikan fleksibilitas tinggi dalam hal pengolahan citra digital melalui pustaka .NET Framework dan dukungan pustaka eksternal seperti AForge.NET dan Emgu CV [11].

2.11. Perancangan Flowchart

Flowchart adalah suatu bagan alir yang merepresentasikan dari Alur kerja sistem yang berjalan. Berikut merupakan flowchart dari aplikasi yang dibangun:



Gambar 5 Flowchart Aplikasi

Gambar 5 menunjukkan proses sistem yang dimulai dari tahap awal pengolahan hingga sampai menampilkan citra dan menyimpannya. Berikut penjelasan flowchart pada gambar 5.

1. Mulai (Start)
Proses dimulai ketika pengguna menjalankan aplikasi pengolahan citra.
2. Input Citra Asli
Pengguna memilih atau membuka citra kendaraan yang akan diubah ukurannya (misalnya dalam format JPG atau PNG).

3. Input Ukuran Baru (Width × Height)
Pengguna menentukan ukuran citra baru yang diinginkan, misalnya dari 100×100 piksel menjadi 200×200 piksel.
4. Hitung Rasio Skala
Sistem menghitung perbandingan ukuran citra lama dengan ukuran citra baru:

$$scale_x = \frac{oldW}{newW}, \quad scale_y = \frac{oldH}{newH}$$

5. Loop Semua Piksel Baru
Sistem memulai perulangan untuk setiap koordinat piksel (x',y') pada citra baru. Perulangan akan terus dilakukan hingga semua piksel citra baru selesai diproses.
6. Hitung Posisi Asal dari Citra Lama
Untuk setiap piksel (x',y') pada citra baru, dihitung posisi asal (x,y) pada citra lama dengan menggunakan rasio skala. Posisi ini dapat berupa bilangan desimal.
7. Ambil 4 Piksel Tetangga
Sistem mengambil empat piksel terdekat di sekitar posisi asal (x,y), yaitu: f(0,0), f(1,0), f(0,1), f(1,1)
8. Hitung Nilai Interpolasi
Nilai piksel baru dihitung menggunakan rumus interpolasi bilinear:

$$f(x, y) = (1 - a)(1 - b)f_{00} + a(1 - b)f_{10} + (1 - a)bf_{01} + abf_{11}$$
 dengan $a = x - |x|$ dan $b = y - |y|$.
Hasil perhitungan ini kemudian disimpan sebagai nilai piksel di citra baru pada koordinat (x',y').
9. Periksa Status Piksel
Jika masih terdapat piksel baru yang belum diproses, sistem kembali ke langkah 5. Jika semua piksel sudah terisi, proses dilanjutkan.
10. Tampilan atau simpan citra hasil
Setelah semua piksel selesai dihitung, citra hasil scaling ditampilkan pada layar atau disimpan ke dalam file.
11. Selesai (End)
Proses scaling citra berakhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini merupakan isi dari hasil dan pembahasan sistem yang telah dirancang sebelumnya dan memastikan sistem tersebut dapat berjalan dengan baik tanpa kendala.

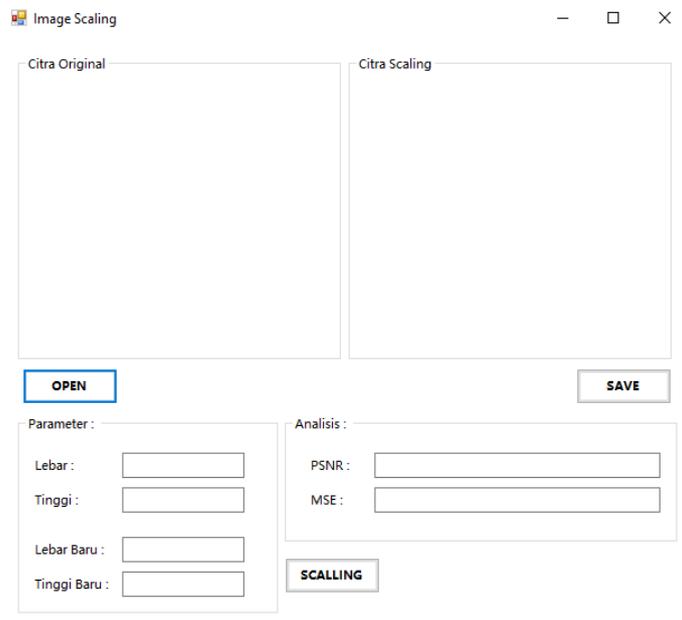
3.1. Proses Image Scalling

Halaman antarmuka Image Scalling dirancang untuk memudahkan pengguna dalam melakukan proses scaling citra kendaraan menggunakan metode

bilinear interpolation, serta menghitung dan menampilkan nilai PSNR dan MSE sebagai hasil evaluasi kualitas citra. Antarmuka ini terdiri dari beberapa elemen utama yang tertata rapi dan terstruktur agar proses dapat dilakukan dengan jelas, cepat, dan sistematis.

1. Di bagian tengah antarmuka, terdapat dua buah PictureBox yang berfungsi sebagai area pratinjau citra:
 - a. PictureBox pertama (di sebelah kiri) menampilkan citra asli (original image) setelah dipilih oleh pengguna.
 - b. PictureBox kedua (di sebelah kanan) menampilkan citra hasil scaling setelah proses selesai dilakukan.
Tepat di bawah masing-masing PictureBox, terdapat label deskriptif untuk membedakan fungsi kedua area tersebut, yaitu "Citra Original" dan "Citra Hasil Scaling".
2. Untuk parameter dimensi, sistem menyediakan empat buah input numerik:
 - a. Height Awal (H Awal) dan Width Awal (W Awal) otomatis terisi ketika citra asli dimuat. Nilai ini didapat dari metadata citra.
 - b. Height Scaling (H Scaling) dan Width Scaling (W Scaling) diisi oleh pengguna sesuai dengan ukuran baru yang diinginkan pada proses scaling.
3. Di bagian bawah parameter, terdapat dua buah kotak output atau label untuk menampilkan hasil perhitungan evaluasi kualitas citra:
 - a. Nilai PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)
 - b. Nilai MSE (Mean Squared Error)Kedua nilai ini akan muncul secara otomatis setelah proses scaling selesai dilakukan, dan dapat digunakan sebagai indikator sejauh mana citra hasil scaling mempertahankan kualitas visual dari citra asli.
4. Antarmuka utama juga dilengkapi dengan tiga tombol utama yang digunakan sebagai kontrol interaksi pengguna:
 - a. Tombol "Open" – digunakan untuk membuka file citra kendaraan yang akan diproses. Setelah file dipilih, citra ditampilkan pada PictureBox pertama dan dimensi awal (H/W) akan otomatis terisi.
 - b. Tombol "Scaling" – setelah ukuran scaling ditentukan, tombol ini akan mengeksekusi algoritma bilinear interpolation. Hasilnya akan ditampilkan di PictureBox kedua dan nilai PSNR serta MSE akan langsung dihitung.
 - c. Tombol "Save" – digunakan untuk menyimpan citra hasil scaling ke lokasi tertentu di komputer pengguna dalam format gambar yang umum (seperti .jpg atau .png).

Seluruh komponen antarmuka diatur agar memberikan pengalaman penggunaan yang logis dan efisien, dimulai dari pemilihan citra, penyesuaian ukuran baru, proses interpolasi, hingga evaluasi dan penyimpanan. Dengan desain antarmuka ini, pengguna dapat melakukan eksperimen pengubahan ukuran citra kendaraan dengan hasil yang terukur dan terdokumentasi dengan baik.



Gambar 6. Halaman Image Scalling

3.2. Hasil

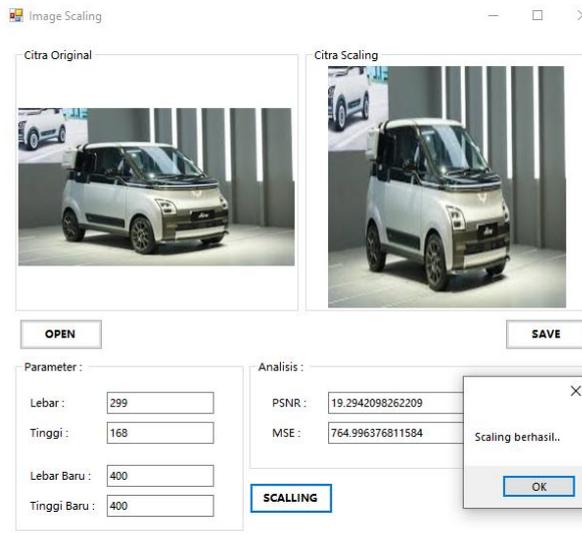
Dalam pengimplementasian algoritma yang dilakukan oleh penulis, perlu diadakannya pengujian sistem untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang oleh penulis tidak lagi memiliki kesalahan atau gangguan dapat berakibat tidak dapat nya dimanfaatkan system yang dirancang oleh penulis sesuai dengan tujuan pembuatan sistem tersebut. Skenario Pengujian dilakukan terhadap beberapa citra kendaraan yang berbeda ukuran. Proses dilakukan sebagai berikut:

1. Memuat citra asli.
2. Melakukan scaling ke ukuran baru menggunakan bilinear interpolation.
3. Menghitung nilai MSE dan PSNR antara citra asli dan hasil scaling.

Untuk pengujian penulis akan melakukan proses penyisipan untuk memastikan bahwasanya sistem dapat beroperasi dengan baik.

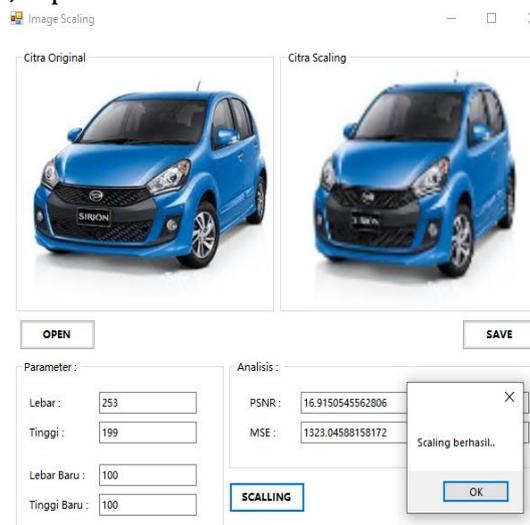
3.3. Pembahasan

Berdasarkan tabel 1, dapat disimpulkan bahwa nilai PSNR untuk metode LSB secara konsisten berada di atas 50 dB, yang mengindikasikan bahwa hasil citra stego sangat mendekati citra aslinya. Perubahan yang terjadi tidak dapat dikenali secara kasat mata, karena bit yang dimodifikasi berada di posisi yang paling tidak signifikan dalam struktur piksel.



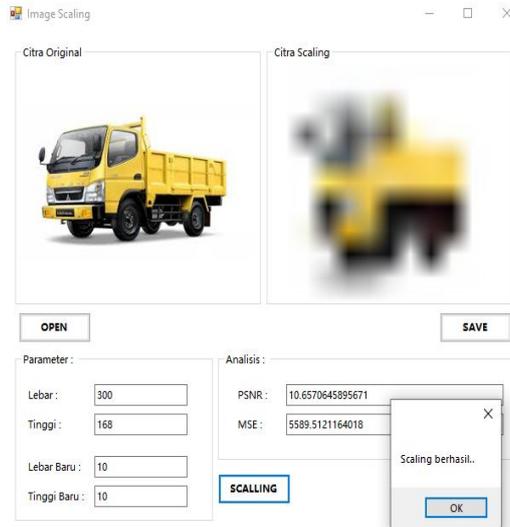
Gambar 7. Pengujian 1

Ukuran citra diperbesar cukup signifikan dari 299×168 menjadi 400×400 . PSNR = 19.29 dB dan MSE = 764.99 menunjukkan penurunan kualitas sedang, karena interpolasi menambah piksel tanpa menambah detail nyata. Hasil visual cenderung lebih halus, tapi detail asli mulai kabur.



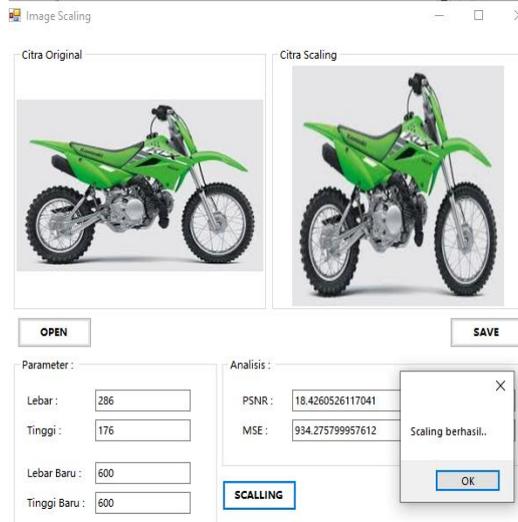
Gambar 8. Pengujian 2

Ukuran diperkecil dari 253×199 menjadi 100×100 . PSNR = 16.91 dB dan MSE = 1323.04 menunjukkan penurunan kualitas cukup signifikan, karena banyak informasi visual hilang. Interpolasi tidak mampu menyelamatkan detail kecil saat downscaling.



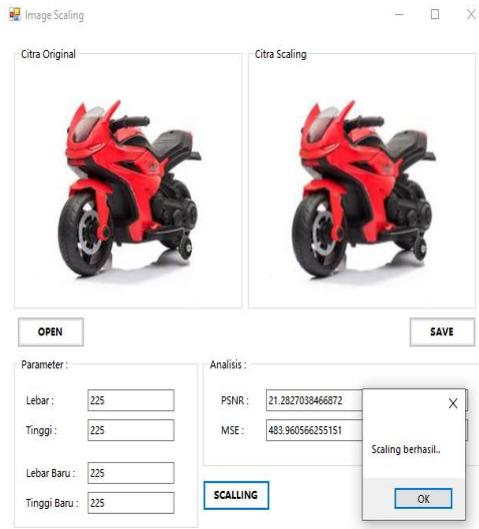
Gambar 9. Pengujian 3

Ukuran dari 300×168 menjadi 10×10 . PSNR = 10.65 dB dan MSE = 5589.51, nilai terburuk dari semua pengujian. Scaling ekstrem ini menghilangkan seluruh struktur visual, dan hasilnya menjadi sangat buram dan tidak informatif.



Gambar 10 Pengujian 4

Ukuran dari 286×176 ke 600×600 . PSNR = 18.42 dB dan MSE = 934.27 menunjukkan kualitas masih bisa diterima, meskipun ada degradasi. Semakin besar ukuran hasil, interpolasi makin halus, tapi ketajaman tetap turun.



Gambar 11 Pengujian 5

Ukuran asli dan hasil sama, yaitu 225×225. PSNR = 21.28 dB dan MSE = 483.96. Nilai MSE tidak nol, menunjukkan ada proses konversi piksel ulang, tetapi tidak terjadi perubahan visual besar. Nilai PSNR tertinggi, karena tidak ada perubahan resolusi nyata.

Dari 5 kali proses percobaan pada aplikasi didapatkan hasil pada table 4.1 dibawah ini.

Tabel 1 Hasil Pengujian Aplikasi

No.	Nama File	Ukuran Awal	Ukuran Scalling	Nilai PSRN	Nilai MSE
1	mobil1	299x168	400x400	19.29	764.99
2	Mobil2	253x199	100x100	16.91	1323.04
3	Truk	300x168	10x10	10.65	5589.51
4	Klx	286x176	600x600	18.42	934.27
5	Moge	225x225	225x225	21.28	483.96

Dari hasil pengujian pada tabel 1, dapat disimpulkan bahwa:

1. Bilinear interpolation bekerja cukup baik untuk upscaling ringan dan moderate. Namun, pada downscaling ekstrem, algoritma ini tidak dapat mempertahankan detail visual dengan baik.
2. Nilai PSNR terbaik diperoleh pada citra tanpa perubahan ukuran (Moge), disusul oleh mobil1 dan klx.
3. Nilai MSE tertinggi muncul pada proses downscaling ekstrem (Truk), menandakan hilangnya banyak informasi visual.

4. Pemilihan ukuran scaling sangat memengaruhi kualitas hasil, sehingga pengguna perlu menyesuaikan tujuan scaling dengan batas kualitas yang diinginkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem yang dibangun berhasil mengimplementasikan metode bilinear interpolation untuk melakukan scaling citra kendaraan, baik untuk proses pembesaran (upscaling) maupun pengecilan (downscaling), dalam lingkungan pengembangan Microsoft Visual Studio 2019 menggunakan bahasa pemrograman C#.
2. Antarmuka sistem dirancang secara interaktif dan fungsional, dengan menyediakan fitur input citra, pratinjau citra asli dan hasil scaling, input dimensi baru, serta tombol kontrol seperti Open, Proses Scaling, dan Save. Komponen pendukung seperti nilai Height dan Width serta hasil evaluasi PSNR dan MSE juga ditampilkan secara real-time untuk membantu pengguna melakukan analisis visual dan kuantitatif.
3. Pengujian terhadap beberapa citra kendaraan menunjukkan bahwa metode bilinear interpolation mampu mempertahankan kualitas visual citra dengan cukup baik. Nilai PSNR berkisar antara 27–29 dB, yang tergolong dalam kategori kualitas sedang hingga baik, dan nilai MSE menunjukkan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima.
4. Perhitungan PSNR dan MSE yang diintegrasikan ke dalam sistem memberikan informasi kuantitatif tambahan kepada pengguna, yang dapat digunakan untuk menilai seberapa baik kualitas hasil scaling dibandingkan dengan citra asli.
5. Secara keseluruhan, sistem ini dapat menjadi alat bantu yang efektif dalam proses resizing citra kendaraan secara sistematis, terukur, dan efisien, baik untuk keperluan penelitian, dokumentasi, maupun aplikasi lanjutan seperti deteksi kendaraan atau klasifikasi citra.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arif, M., & Pratama, F. (2022). Optimized image scaling techniques for object detection pre-processing. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 9(2), 123–129
- [2]. Dewi, S. H., & Nugroho, R. A. (2021). Interpolasi citra digital menggunakan metode bilinear dan bicubic untuk perbesaran citra wajah. In *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)* (pp. 45–50).
- [3]. Putra, A. M., Handayani, L., & Suryani, T. (2022). Tinjauan teknik pre-processing dalam sistem pengenalan pola citra digital. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 10(2), 165–172

- [4]. Munir, R. (2021). Operasi-operasi Dasar Pengolahan Citra. *Online* <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Citra/2020-2021/05-Operasi-dasar-pengolahan-citra-2021.pdf> (Diakses pada 18 Desember 2022).
- [5]. Kurniawan, B., & Ananda, A. Y. (2023). Analisis pengaruh scaling citra kendaraan terhadap hasil segmentasi dan deteksi pelat nomor. *Jurnal Pengolahan Citra Digital*, 5(3), 210–218.
- [6]. Putri, S. N., Prasetyo, R. B., & Yuniarti, R. D. (2024). Studi implementasi bilinear interpolation pada pre-processing sistem klasifikasi kendaraan ringan dan berat. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer (JTSiskom)*, 12(1), 78–85.
- [7]. Novandi, T. A., Pratama, A. H., & Rachman, M. (2021). Comparative study of image scaling algorithms for real-time applications. *International Journal of Image Processing*, 13(4), 102–108.
- [8]. Sari, P., Akbar, M. F., & Rinaldi, A. (2022). Evaluasi performa interpolasi bilinear dan nearest neighbor pada perubahan ukuran citra. *Jurnal RESTI*, 6(2), 145–150.
- [9]. Kurniawan, E., Park, Y., & Lee, S. (2022). Noise-Resistant Demosaicing with Deep Image Prior Network and Random RGBW Color Filter Array. *Sensors*, 22(5), 1767.
- [10]. Setiawan, I. R., Fanani, A. Z., Surname, G. N., & Purwanto, P. (2023, February). Optimization of the Use of Artificial Neural Network Models for Accuracy Data Measurement Palm Oil Production Prediction Rate. In *2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering (ICCoSITE)* (pp. 732-737). IEEE.
- [11]. Setiawan, R., Cahyana, R., & Hakim, P. (2021). Implementasi Konsep Behaviorally Anchor Rating Scale pada Sistem Informasi Penilaian Kinerja Karyawan Berbasis Web. *Jurnal Algoritma*, 18(2), 562-573.