

Peningkatan Kualitas Citra Pada Video Rekaman CCTV Berbasis Teknologi Deep Learning

Annisya Widiyanti Syahrir¹⁾, Mardawia Mabe Parenreng²⁾, Nurul Khaerani Hamzidah³⁾

¹ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
Annisawidiyanti1408@gmail.com

² Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
mmparenreng@poliupg.ac.id

³ Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
nkhamzidah@poliupg.ac.id

Abstrak

Peningkatan kualitas citra melalui Deep Learning adalah sebuah terobosan dalam bidang visi komputer. Dengan memanfaatkan teknologi GPU, jaringan saraf dalam Deep Learning bisa memahami dan meningkatkan citra dengan tingkat detail tinggi. Salah satu penerapannya adalah dalam meningkatkan resolusi citra, di mana model Deep Learning mampu mengambil citra beresolusi rendah dan menghasilkan citra yang lebih tajam dan berkualitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah aplikasi peningkatan kualitas citra berbasis teknologi Deep Learning dengan pendekatan Single Image Super-Resolution (SISR), menggunakan metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN. Aplikasi ini memanfaatkan kemampuan model jaringan saraf dalam meningkatkan resolusi citra secara signifikan, khususnya pada video rekaman CCTV dengan resolusi rendah. Dengan beberapa hasil yang signifikan yang telah diperoleh, aplikasi ini diharapkan dapat memberikan solusi modern dan efektif untuk meningkatkan kualitas citra dalam video rekaman CCTV. Hal ini berpotensi besar meningkatkan keamanan, pemantauan, dan efektivitas investigasi kriminal melalui informasi citra yang lebih baik dan lebih berkualitas.

Kata Kunci: CCTV, Peningkatan Kualitas Citra, Deep Learning, SISR, ESPCN, FSRCNN, LAPSRN.

I. PENDAHULUAN

Gambar dan video membawa informasi yang kaya dan mendetail tentang pemandangan sebenarnya. Dengan menangkap dan memproses data gambar dan video, sistem cerdas dapat dikembangkan untuk berbagai tugas seperti deteksi objek, klasifikasi, segmentasi, pengenalan, pemahaman adegan, dan rekonstruksi 3D, dan kemudian digunakan dalam banyak aplikasi nyata, misalnya, pengawasan video Closed Circuit Television (CCTV).

Hasil rekaman video yang diperoleh dari CCTV tergantung berdasarkan kualitas CCTV itu sendiri, serta pengaruh dari area yang diletakkan kamera CCTV, apabila lokasi tersebut banyak mendapatkan cahaya maka hasil rekaman CCTV kelihatan bagus, apabila intensitas cahaya pada ruang tersebut kurang maka hasil yang diperoleh dari kamera CCTV hanya tampak objek yang mendapat pancaran cahaya, sehingga ada beberapa sisi objek yang kelihatan gelap [1]. Peningkatan kualitas citra dalam konteks ini menjadi penting karena citra yang buruk dapat menghambat analisis citra yang diperlukan, seperti deteksi objek atau individu.

Teknologi Deep Learning, yang telah mengalami perkembangan pesat berkat kemajuan dalam teknologi GPU, menawarkan pendekatan yang menarik untuk meningkatkan kualitas citra dalam rekaman CCTV. Salah satu metode yang

dapat digunakan adalah Single Image Super-Resolution (SISR), yang merupakan jenis super resolusi yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi citra tunggal dengan memanfaatkan teknik pemrosesan gambar dan pendekatan Deep Learning. Metode SISR bekerja dengan memanfaatkan informasi dari citra beresolusi rendah (LR) untuk memperkirakan citra beresolusi tinggi (HR) yang lebih akurat dan tajam.

Sebelumnya, telah ada beberapa penelitian yang mencoba mengatasi masalah peningkatan kualitas citra dalam rekaman CCTV. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Helmi Ani Siregar, yang mengusulkan pemanfaatan metode sharpening untuk mengatasi citra yang memiliki noise, derau, atau kabur sehingga objek dapat diperjelas atau dipertajam. Metode ini berhasil meningkatkan kualitas citra CCTV dan mengurangi masalah noise [2]. Selain itu, Putri Nurul Hasanah juga melakukan penelitian yang menggunakan metode interpolasi fractal untuk pembesaran skala pada citra screen capture CCTV. Penelitian ini berfokus pada memperbaiki kualitas citra yang diambil dari video rekaman CCTV dengan menghasilkan citra yang lebih tajam dan memiliki distribusi warna yang merata [3].

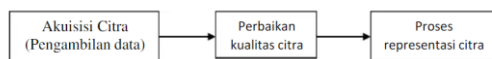
Berdasarkan dari latar belakang masalah tersebut, maka penulis berinisiatif untuk melengkapi penelitian terkait peningkatan kualitas citra pada video rekaman CCTV yaitu melakukan penelitian

dengan judul “Peningkatan Kualitas Citra Pada Video Rekaman CCTV Berbasis Teknologi Deep Learning”. Penelitian ini mengadopsi metode Single Image Super-Resolution (SISR), yang merupakan teknik super resolusi yang berfokus pada peningkatan resolusi citra tunggal. Pendekatan ini memanfaatkan teknik pemrosesan gambar dan pendekatan Deep Learning untuk meningkatkan kualitas citra yang rendah resolusinya (LR) menjadi citra beresolusi tinggi (HR) yang lebih akurat.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Pengolahan Citra

Citra merupakan salah satu bentuk informasi yang berupa gambar. Seringkali citra mengalami gangguan atau memiliki kualitas yang buruk sehingga sulit diinterpretasikan oleh manusia. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan pengolahan citra. Pengolahan citra bertujuan untuk memperoleh kualitas citra yang lebih baik dibandingkan dengan citra awal.



Gambar 1. Proses Pengolahan Citra

B. Computer Vision

Computer Vision adalah bidang ilmu pengetahuan yang mempelajari dalam pembuatan sistem untuk mengambil keputusan dalam mengenali objek fisik nyata dan sesuai keadaan berdasarkan sebuah citra. Computer vision menjadikan sebuah komputer “act like human sight”, sehingga komputer mempunyai kemampuan mendekati manusia dalam mendapatkan informasi secara visual [4].

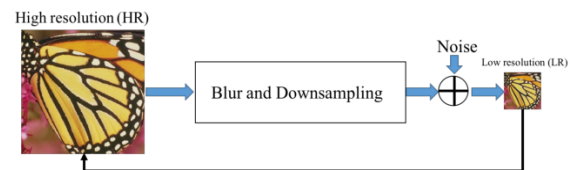
C. Deep Learning

Deep Learning merupakan salah satu bidang dari Machine Learning yang memanfaatkan jaringan syaraf tiruan untuk implementasi permasalahan dengan dataset yang besar. Teknik Deep Learning memberikan arsitektur yang sangat kuat untuk Supervised Learning. Dengan menambahkan lebih banyak lapisan maka model pembelajaran tersebut bisa mewakili data citra berlabel dengan lebih baik. Pada Machine Learning terdapat teknik untuk menggunakan ekstraksi fitur dari data pelatihan dan algoritma pembelajaran khusus untuk mengklasifikasi citra maupun untuk mengenali suara. Namun, metode ini masih memiliki beberapa kekurangan baik dalam hal kecepatan dan akurasi [5]. Deep Learning telah memecahkan banyak masalah seperti klasifikasi gambar, deteksi objek, dan pengenalan suara [6].

D. Single Image Super-Resolution (SISR)

Metode SISR (Single Image Super-Resolution) adalah salah satu metode dalam bidang deep learning yang digunakan untuk meningkatkan

resolusi citra tunggal dari resolusi rendah (LR) menjadi resolusi tinggi (HR). Metode ini mengandalkan model jaringan saraf tiruan yang dalam kasus ini sering kali adalah jaringan generatif untuk menghasilkan citra beresolusi tinggi.



Gambar 2. Sketsa Kerangka SISR

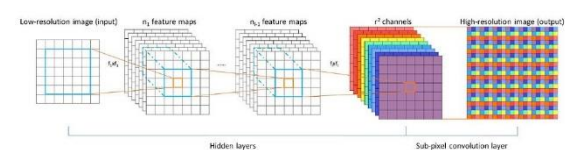
di mana $\mathbf{x} \mathbf{y} \mathbf{k}$ adalah konvolusi antara kernel buram \mathbf{k} dan gambar HR yang tidak diketahui, \mathbf{x} , \mathbf{y} adalah operator *downsampling* dengan faktor skala \mathbf{s} , dan \mathbf{n} adalah istilah kebisingan independen. Istilah kebisingan independent dipresentasikan sebagai \mathbf{n} , dan ini bisa berasal dari berbagai sumber, seperti kebisingan sensor atau gangguan lainnya dalam lingkungan.

Dari persamaan kerangka SISR di atas, SISR menggambarkan bagaimana gambar beresolusi rendah (LR) dapat dihasilkan dari gambar beresolusi tinggi (HR) melalui proses konvolusi dengan kernel buram, diikuti dengan penerapan operator downsampling dan penambahan istilah kebisingan independen.

E. Efficient Sub-Pixel Convolutional Neural Network (ESPCN)

ESPCN (*Efficient Sub-Pixel Convolutional Neural Network*) adalah model dalam kerangka SISR (*Single Image Super-Resolution*) yang dirancang untuk secara efisien meningkatkan resolusi gambar beresolusi rendah menjadi gambar beresolusi tinggi.

Struktur jaringan ESPCN dapat direpresentasikan pada Gambar 3.

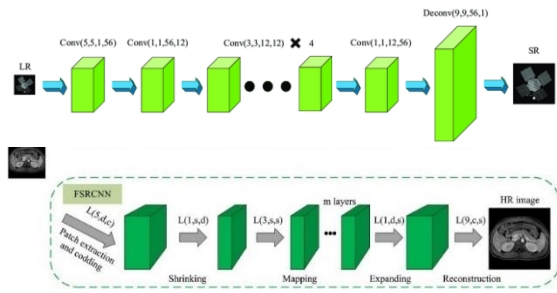


Gambar 3. Struktur ESPCN

F. Fast Super-Resolution Convolutional Neural Network (FSRCNN)

FSRCNN (Fast Super-Resolution Convolutional Neural Network) adalah salah satu metode Single Image Super-Resolution (SISR) yang digunakan untuk meningkatkan kualitas citra beresolusi rendah menjadi citra beresolusi tinggi. FSRCNN bertujuan meningkatkan kecepatan dan kinerja rekonstruksi resolusi tinggi dalam pengolahan gambar [8].

Struktur FSRCNN dapat dilihat pada gambar 4.

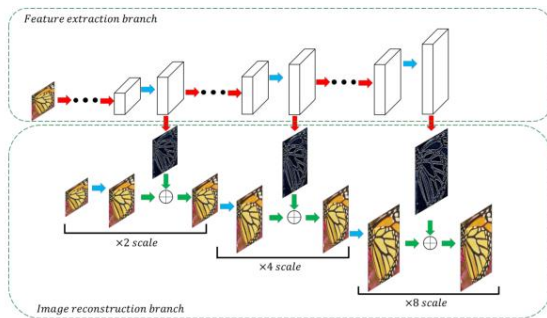


Gambar 4. Struktur FSRCNN

G. Laplacian Pyramid Super-Resolution Network (LapSRN)

LapSRN adalah metode dalam bidang Single Image Super-Resolution (SISR) yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi gambar beresolusi rendah menjadi gambar beresolusi tinggi. Metode ini memanfaatkan konsep piramida Laplacian untuk melakukan pemetaan dari gambar beresolusi rendah ke gambar beresolusi tinggi.

Arsitektur LapSRN dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Arsitektur LapSRN

H. MSE

MSE adalah singkatan dari "Mean Squared Error" (Kesalahan Kuadrat Rata-rata). MSE digunakan untuk mengukur sejauh mana perbedaan antara nilai yang diharapkan (*ground truth*) dan nilai yang diprediksi oleh suatu model atau algoritma.

Rumus dari MSE dapat dilihat pada persamaan 1 :

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_i^n = 1 (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

Dimana :

- n adalah jumlah data poin
- y_i adalah nilai yang diharapkan (*ground truth*) untuk data poin ke-i.
- \hat{y}_i adalah nilai yang diprediksi oleh model untuk data poin ke-i.

I. RMSE

RMSE adalah singkatan dari "Root Mean Squared Error" (Kesalahan Kuadrat Rata-rata Akar). RMSE mengukur rata-rata akar dari perbedaan kuadrat antara nilai yang diharapkan (*ground truth*) dan nilai yang diprediksi oleh suatu model atau algoritma. RMSE memberikan bobot lebih pada perbedaan besar antara nilai sebenarnya dan nilai prediksi, dan karena diakarkan, hasilnya dalam satuan yang sama dengan data yang diukur, membuatnya lebih mudah untuk diinterpretasikan.

Rumus dari RMSE dapat dilihat pada persamaan 2 berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^n = 1 (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

J. PSNR

PSNR adalah singkatan dari "Peak Signal-to-Noise Ratio" (Rasio Puncak Sinyal-ke-Noise). PSNR digunakan untuk mengukur kualitas dan kejernihan gambar atau sinyal dengan membandingkan sinyal asli dengan sinyal yang telah diolah atau dikompresi. PSNR mengukur rasio antara energi puncak sinyal (sinyal asli) dengan energi derau (perbedaan antara sinyal asli dan hasil olahan).

Rumus dari PSNR dapat dilihat pada persamaan 3 berikut:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{Puncak sinyal}^2}{MSE} \right) \quad (3)$$

K. Tensorflow

TensorFlow adalah sebuah framework (kerangka kerja) open-source yang dikembangkan oleh Google yang digunakan untuk membangun, melatih, dan menerapkan model machine learning dan deep learning [9].

L. OpenCV

Open Source Computer Vision Library (OpenCV), adalah sebuah library open source yang dikembangkan oleh intel yang fokus untuk menyederhanakan programming terkait citra digital. Di dalam OpenCV sudah mempunyai banyak fitur, antara lain : pengenalan wajah, pelacakan wajah, deteksi wajah, dan berbagai jenis metode AI (*Artificial Intellegence*) [10].

M. Flask

Flask adalah sebuah kerangka kerja (framework) web yang ringan dan sederhana untuk bahasa pemrograman Python [11].

III. METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian yang dirancang oleh penulis berisi tentang panduan dan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengembangan sistem aplikasi peningkatan kualitas citra video rekaman CCTV. Tujuan dari penelitian untuk menghasilkan sistem aplikasi yang mampu melakukan peningkatan kualitas citra menggunakan metode deep learning dengan meningkatkan resolusi dari citra itu sendiri. Untuk itu agar tujuan dari penelitian dapat terealisasi dengan baik, dibutuhkan prosedur kerja sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap awal dimana peneliti melakukan studi dan Analisa penelitian terkait sistem aplikasi peningkatan kualitas citra video rekaman CCTV menggunakan metode deep learning. Studi literatur yang diperoleh yaitu dari berbagai sumber yang tersedia seperti jurnal, skripsi, buku, website, maupun sumber lain yang memiliki keterkaitan dengan permasalahan yang dihadapi.

B. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan untuk mengetahui apa saja yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem aplikasi peningkatan kualitas citra pada video rekaman CCTV berbasis teknologi deep learning. Adapun kebutuhan secara fungsional sebagai berikut:

- 1) Sistem dapat menampilkan citra video rekaman CCTV yang akan diuji.
- 2) Sistem dapat menampilkan model resolusi dari metode yang digunakan.
- 3) Sistem dapat melakukan pemrosesan citra video rekaman CCTV berdasarkan model resolusi yang dipilih.
- 4) Sistem dapat melihat nilai MSE, RMSE dan PSNR dari citra yang diuji.
- 5) Sistem dapat menyimpan hasil dari video rekaman CCTV yang telah melewati proses peningkatan kualitas citra menggunakan model deep learning yang dipilih.

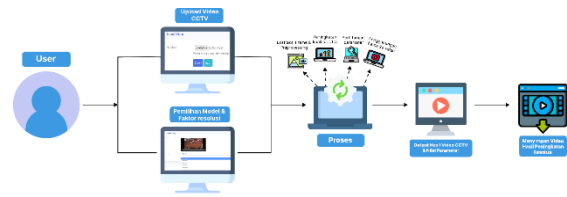
C. Perancangan Sistem

Perancangan sistem terdiri dari prinsip kerja berupa gambaran umum sistem, blok diagram aplikasi, *Use Case*, *Activity Diagram*, *Flowchart* Sistem, dan Wireframe GUI yang diuraikan sebagai berikut:

1) Gambaran Umum Sistem

Sistem yang dibuat berupa aplikasi berbentuk website, dimana dalam pembuatannya menggunakan bahasa pemrograman *Python* sebagai bahasa utama dalam melakukan peningkatan kualitas citra video rekaman CCTV, integrasi model SISR dengan *Tensorflow*, melakukan ekstraksi

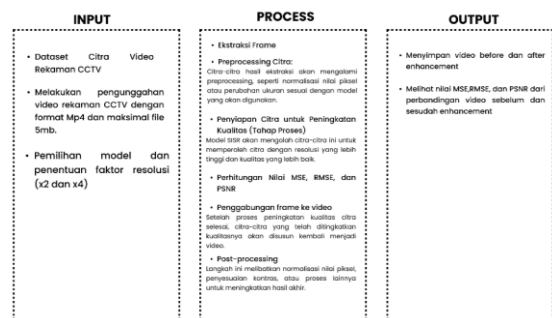
frame dengan library *OpenCV* dan menggunakan framework *Flask* pada *Python* untuk membangun tampilan antarmuka berbasis *HTML* dan *CSS*.



Gambar 6. Gambaran Umum Sistem

2) Blok Diagram Aplikasi

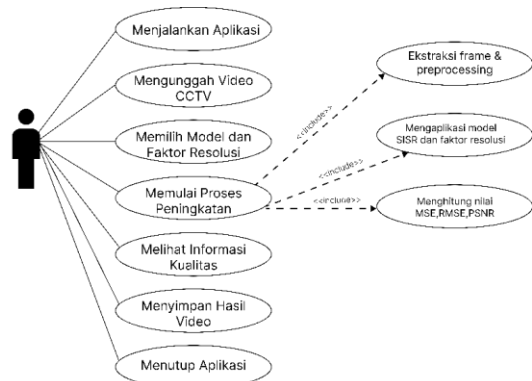
Blok diagram aplikasi menunjukkan alur yang akan diikuti oleh aplikasi saat berjalan. Diagram ini terbagi menjadi tiga tahap utama. Tahap pertama adalah input, yang melibatkan penggunaan data sebagai masukan untuk proses selanjutnya. Tahap kedua adalah proses, di mana data yang diinputkan akan diolah dengan berbagai langkah untuk menghasilkan output yang diinginkan. Tahap ketiga adalah output, di mana hasil akhir dari proses akan ditampilkan kepada pengguna atau digunakan sesuai kebutuhan. Seluruh alur ini dijelaskan dalam blok diagram yang ditampilkan pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Blok Diagram

3) Use Case

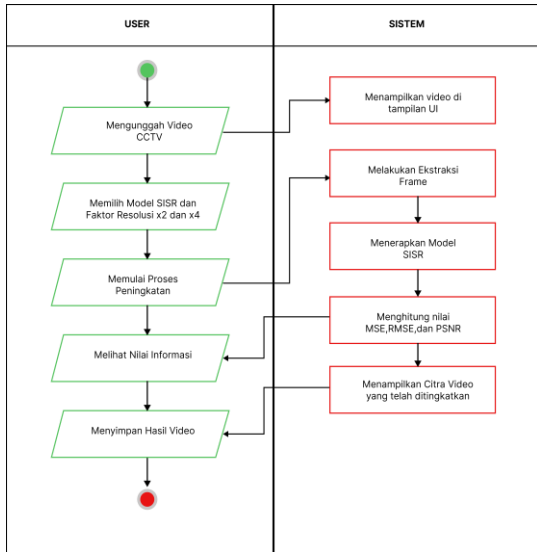
Agar dapat merancang serta mengetahui kebutuhan sistem maka penulis merancang sebuah use case yang dapat terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Use Case

4) Activity Diagram

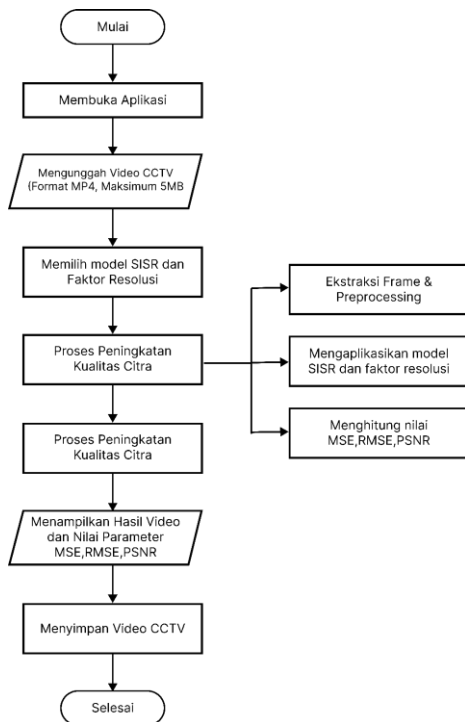
Activity Diagram adalah alat visual dalam pemodelan proses atau alur kerja yang menggambarkan urutan aktivitas, tindakan, dan keputusan dalam suatu sistem atau proses.



Gambar 9. Activity Diagram

5) Flowchart Sistem

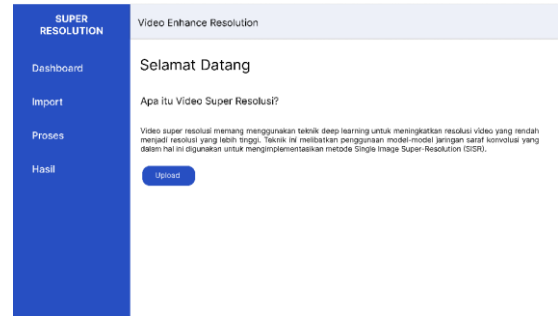
Flowchart sistem adalah representasi visual yang menggambarkan alur kerja sistem secara menyeluruh. Ini memberikan gambaran tentang prosedur-prosedur yang terlibat dalam suatu sistem secara sistematis dan jelas.



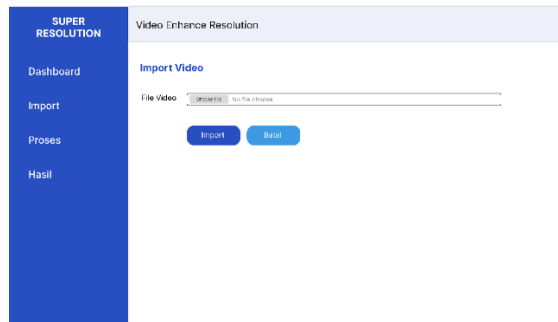
Gambar 10. Flowchart Sistem

6) Wireframe GUI

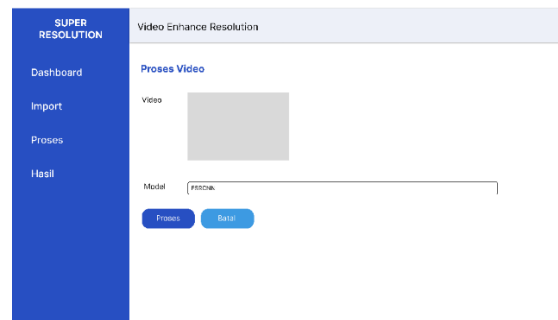
Wireframe GUI adalah representasi visual sederhana dari antarmuka pengguna (UI) suatu aplikasi atau sistem. Ini berupa sketsa yang menunjukkan tata letak elemen-elemen utama dalam antarmuka, seperti tombol, teks, gambar, dan area input. Berikut rancangan Wireframe GUI yang telah dirancang oleh penulis.



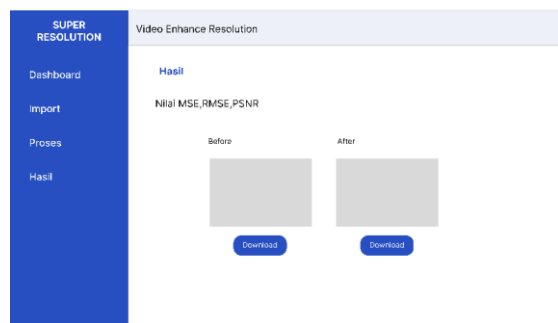
Gambar 11. Wireframe GUI Halaman Utama



Gambar 12. Halaman Import



Gambar 13. Halaman Proses



Gambar 14. Halaman Hasil

D. Pembuatan Sistem

Pada pembuatan sistem pada aplikasi peningkatan kualitas citra menggunakan metode SISR dengan bahasa pemrograman Python dan framework Flask untuk membangun tampilan antarmuka berbasis HTML dan CSS. Pada pembuatan aplikasi ini tentunya menggunakan beberapa library pendukung. Ini membantu dalam proses pengolahan citra, pengembangan antarmuka pengguna, serta manajemen aplikasi secara keseluruhan.

E. Pengujian Sistem

Pengujian sistem adalah proses evaluasi dan verifikasi keseluruhan aplikasi atau sistem guna memastikan bahwa aplikasi tersebut berjalan sesuai dengan spesifikasi dan tujuan yang telah ditetapkan. Berikut beberapa aspek pengujian yang akan dilakukan.

1) Pengujian Metode Blackbox

Pengujian metode blackbox berfokus pada menguji fungsionalitas dan perilaku aplikasi dari sudut pandang pengguna atau pengguna eksternal.

2) Pengujian Skala Resolusi

Pengujian skala resolusi dalam aplikasi peningkatan kualitas citra menggunakan metode SISR seperti ESPCN, FSRCNN, dan LapSRN akan melibatkan pengujian perbedaan hasil antara ketiga model tersebut pada skala 2 dan skala 4.

3) Pengujian Nilai Metrik MSE, RMSE, dan PSNR

Pengujian nilai metrik seperti MSE, RMSE, dan PSNR bertujuan untuk mengukur seberapa baik kualitas citra telah ditingkatkan oleh aplikasi. Metrik ini digunakan untuk mengukur seberapa dekat hasil citra yang telah ditingkatkan dengan citra asli yang sebenarnya. Pengujian nilai metrik ini memerlukan perbandingan antara citra asli dan citra yang telah ditingkatkan, serta perhitungan nilai-nilai metrik tersebut.

F. Uji Kecepatan Aplikasi

Pengujian kecepatan aplikasi juga merupakan hal penting dalam pengembangan aplikasi peningkatan kualitas citra. Proses pengujian ini memberikan pemahaman tentang efisiensi aplikasi dalam meningkatkan kualitas citra. Langkah-langkah pengujian termasuk mengukur waktu eksekusi untuk setiap frame, menguji dengan berbagai resolusi video, serta variasi jumlah frame. Melalui pengujian ini, peneliti dapat mengidentifikasi kinerja aplikasi dalam berbagai situasi dan memilih model atau algoritma yang memberikan hasil terbaik dalam hal kualitas dan kecepatan.

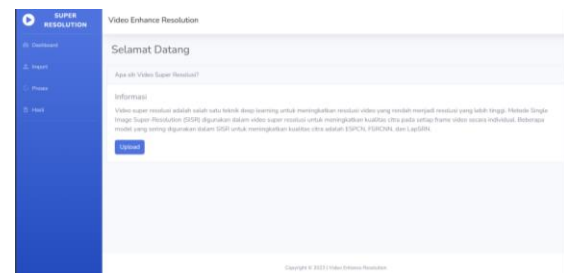
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah berhasil dikembangkan sebuah aplikasi peningkatan kualitas citra berbasis website yang bertujuan untuk meningkatkan resolusi citra. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengunggah video rekaman CCTV rendah resolusi, memilih model dan faktor resolusi yang sesuai, serta melakukan proses peningkatan kualitas citra. Setelah proses selesai, hasil citra yang telah ditingkatkan kualitasnya ditampilkan kepada pengguna melalui antarmuka pengguna (UI). Pengguna juga dapat melihat nilai informasi kualitas seperti MSE, RMSE, dan PSNR. Aplikasi ini memberikan kemudahan bagi pengguna untuk meningkatkan resolusi citra tanpa harus memiliki pengetahuan mendalam dalam bidang pemrosesan citra.

A. Hasil Tampilan Antarmuka Aplikasi

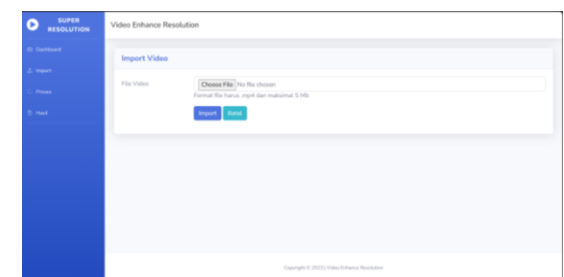
Hasil tampilan antarmuka aplikasi yang dibuat mengacu pada desain wireframe. Tampilan tersebut terdiri dari beberapa tampilan yaitu menu dashboard, menu import, menu proses, dan menu hasil. Berikut adalah hasil dari tampilan antarmuka aplikasi yang telah dibuat.

1) Tampilan Menu Dashboard



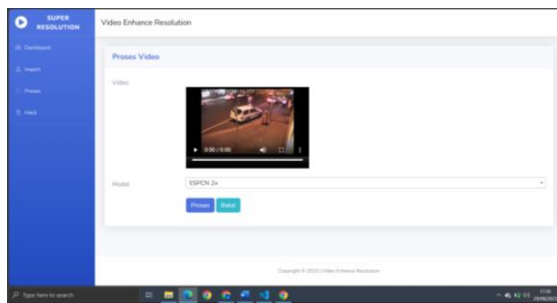
Gambar 15. Halaman Menu Dashboard Aplikasi

2) Tampilan Menu Import



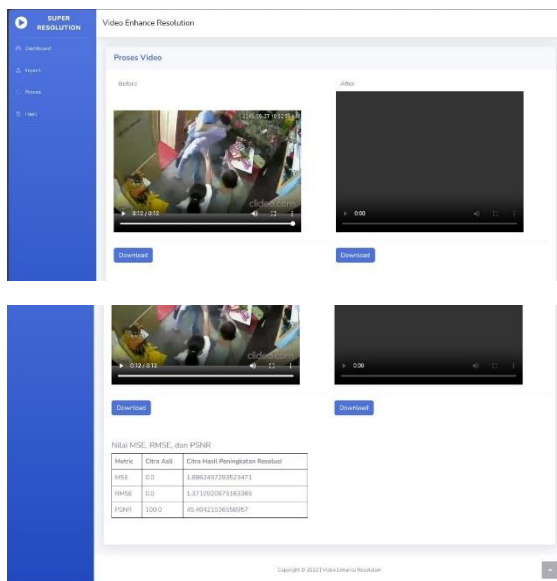
Gambar 16. Halaman Menu Import Aplikasi

3) Tampilan Menu Proses



Gambar 17. Halaman Menu Proses Aplikasi

4) Tampilan Menu Hasil



Gambar 18. Halaman Menu Hasil Aplikasi

B. Pengujian Metode Black Box

Pengujian metode blackbox merupakan pendekatan yang menekankan pada evaluasi perilaku dan kinerja aplikasi dari perspektif pengguna atau pihak eksternal. Dalam pengujian ini, paengguna memberikan input kepada aplikasi dan memeriksa hasil keluaran tanpa harus mengetahui bagaimana aplikasi tersebut diimplementasikan secara internal. Berdasarkan dari tabel 1 di bawah, maka dapat disimpulkan bahwa pengujian fungsionalitas aplikasi telah berjalan sesuai dengan perencanaan sebelumnya.

Tabel 1. Hasil Pengujian Metode Black Box

Tahap Pengujian	Deskripsi	Kegiatan Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
Uji Fungsionalitas	Memastikan aplikasi berinteraksi dengan pengguna untuk mengunggah video rekaman dan memilih model SISR serta faktor resolusi.	- Pengguna mengakses halaman import - Mengunggah video rekaman - Memilih model dan faktor resolusi di halaman proses	Opsi pemilihan model dan faktor resolusi muncul, video diunggah dengan benar.	Valid
Peningkatan Kualitas	Verifikasi kemampuan aplikasi meningkatkan kualitas citra pada video rekaman sesuai model dan resolusi yang dipilih.	- Pengguna memulai proses peningkatan kualitas - Mengamati perubahan citra pada video	Citra ditingkatkan sesuai dengan model dan faktor resolusi, memberikan kualitas yang lebih baik.	Valid
Pengukuran Metrik	Evaluasi performa aplikasi melalui pengukuran metrik kualitas citra seperti MSE, RMSE, dan PSNR.	- Pengguna melihat nilai metrik setelah proses selesai - Membandingkan hasil metrik dengan standar kualitas	Nilai-nilai metrik sesuai dengan standar kualitas dan mengindikasikan perbaikan kualitas citra.	Valid
Unduhan Hasil	Memeriksa opsi pengguna untuk mengunduh citra hasil peningkatan kualitas.	- Pengguna mengunduh citra hasil peningkatan dari halaman hasil	Pengguna dapat mengunduh citra hasil peningkatan untuk penggunaan lainnya.	Valid
Pengalaman Pengguna	Menilai keseluruhan pengalaman pengguna dalam menjalankan seluruh proses aplikasi.	- Pengguna menjalankan seluruh proses aplikasi dari unggah hingga hasil - mengamati kecepatan dan kemudahan penggunaan	Pengguna merasa puas dengan hasil akhir, antarmuka mudah digunakan, dan proses berjalan dengan lancar.	Valid

C. Pengujian Skala Resolusi

Pada penelitian ini , faktor skala “2x dan 4x” digunakan untuk mengindikasikan sejauh mana ukuran resolusi citra atau video ditingkatkan dari resolusi aslinya. Pentingnya pengujian ini terletak pada kemampuan metode peningkatan resolusi untuk menghasilkan citra yang mendekati kualitas citra asli tanpa distorsi yang berlebihan, terutama pada berbagai tingkat skala resolusi yang berbeda. Distorsi atau tingkat kebisingan citra mengacu pada sejauh mana citra hasil memiliki perbedaan atau ketidaksempurnaan dibandingkan dengan citra asli atau yang diinginkan.

Adapun dataset video rekaman CCTV yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Video1.MP4 (Video CCTV Siang Dalam Ruangan)
2. Video2.MP4 (Video CCTV Siang Luar Ruangan)
3. Video3.MP4 (Video CCTV Malam Dalam Ruangan)
4. Video4.MP4 (Video CCTV Malam Luar Ruangan)
5. Video5.MP4 (Video CCTV Cuaca Hujan)

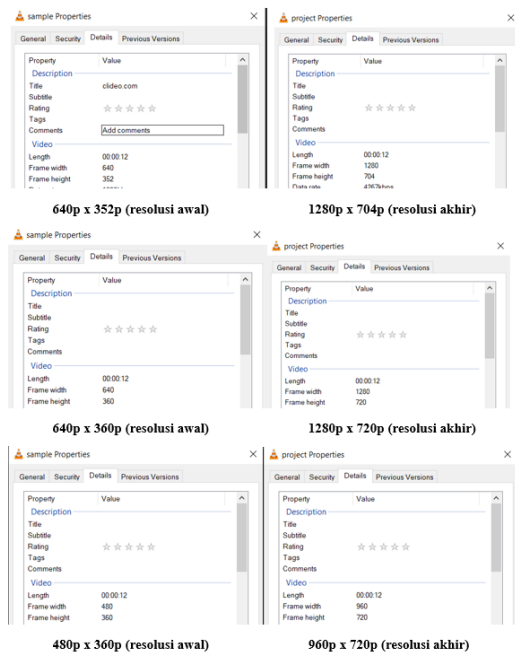
Dataset pada video rekaman CCTV yang digunakan masing-masing memiliki durasi yang sama yaitu 12 detik.



Gambar 19. Dataset Video Rekaman CCTV Format MP4

1) Pengujian Faktor Skala Resolusi 2x

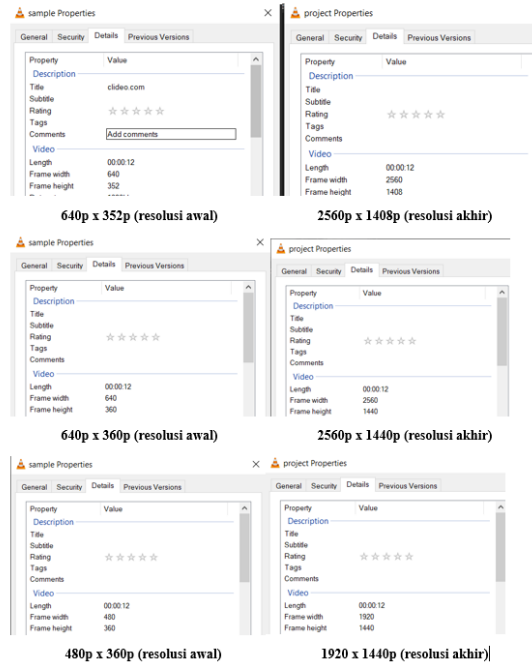
Pada langkah pertama pengujian ini, dilakukan pengujian pada 5 dataset video rekaman CCTV dengan menerapkan faktor skala resolusi 2x menggunakan metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN.



Gambar 20. Hasil Resolusi Skala 2x

2) Pengujian Faktor Skala Resolusi 4x

Pengujian faktor resolusi skala 4x adalah kelanjutan dari pengujian sebelumnya yang bertujuan untuk mengukur kualitas dan efektivitas metode peningkatan resolusi pada faktor skala yang lebih tinggi. Prosesnya serupa dengan pengujian faktor resolusi skala 2x, tetapi dalam kasus ini, faktor skala adalah 4x, yang berarti ukuran resolusi ditingkatkan sebanyak empat kali lipat dari resolusi asli.



Gambar 21. Hasil Resolusi Skala 4x

Berikut adalah hasil pengujian skala resolusi secara keseluruhan yang dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Skala Resolusi

No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	Ukuran Video	Hasil Ekstraksi Frame	Resolusi Awal	Resolusi Akhir
1	ESPCN	2x	Video1.mp4	2,55 MB	306	640p x 352p	1280p x 704p
2	ESPCN	2x	Video2.mp4	1,29 MB	300	640p x 360p	1280p x 720p
3	ESPCN	2x	Video3.mp4	1,42 MB	300	480p x 360p	960p x 720p
4	ESPCN	2x	Video4.mp4	1,73 MB	385	640p x 360p	1280p x 720p
5	ESPCN	2x	Video5.mp4	2,54 MB	392	480p x 360p	960p x 720p
6	ESPCN	4x	Video1.mp4	2,55 MB	306	640p x 352p	2560p x 1408p
7	ESPCN	4x	Video2.mp4	1,29 MB	300	640p x 360p	2560p x 1440p
8	ESPCN	4x	Video3.mp4	1,42 MB	300	480p x 360p	1920p x 1440p
9	ESPCN	4x	Video4.mp4	1,73 MB	385	640p x 360p	2560p x 1440p
10	ESPCN	4x	Video5.mp4	2,54 MB	392	480p x 360p	1920p x 1440p
11	FSRCNN	2x	Video1.mp4	2,55 MB	306	640p x 352p	1280p x 704p
12	FSRCNN	2x	Video2.mp4	1,29 MB	300	640p x 360p	1280p x 720p
13	FSRCNN	2x	Video3.mp4	1,42 MB	300	480p x 360p	960p x 720p
14	FSRCNN	2x	Video4.mp4	1,73 MB	385	640p x 360p	1280p x 720p
15	FSRCNN	2x	Video5.mp4	2,54 MB	392	480p x 360p	960p x 720p
16	FSRCNN	4x	Video1.mp4	2,55 MB	306	640p x 352p	2560p x 1408p
17	FSRCNN	4x	Video2.mp4	1,29 MB	300	640p x 360p	2560p x 1440p
18	FSRCNN	4x	Video3.mp4	1,42 MB	300	480p x 360p	1920p x 1440p
19	FSRCNN	4x	Video4.mp4	1,73 MB	385	640p x 360p	2560p x 1440p
20	FSRCNN	4x	Video5.mp4	2,54 MB	392	480p x 360p	1920p x 1440p
21	LAPSRN	2x	Video1.mp4	2,55 MB	306	640p x 352p	1280p x 704p
22	LAPSRN	2x	Video2.mp4	1,29 MB	300	640p x 360p	1280p x 720p
23	LAPSRN	2x	Video3.mp4	1,42 MB	300	480p x 360p	960p x 720p
24	LAPSRN	2x	Video4.mp4	1,73 MB	385	640p x 360p	1280p x 720p
25	LAPSRN	2x	Video5.mp4	2,54 MB	392	480p x 360p	960p x 720p
26	LAPSRN	4x	Video1.mp4	2,55 MB	306	640p x 352p	2560p x 1408p
27	LAPSRN	4x	Video2.mp4	1,29 MB	300	640p x 360p	2560p x 1440p
28	LAPSRN	4x	Video3.mp4	1,42 MB	300	480p x 360p	1920p x 1440p
29	LAPSRN	4x	Video4.mp4	1,73 MB	385	640p x 360p	2560p x 1440p
30	LAPSRN	4x	Video5.mp4	2,54 MB	392	480p x 360p	1920p x 1440p

D. Pengujian Nilai Metrik MSE, RMSE, dan PSNR

Berikut hasil pengujian nilai metrik untuk faktor skala resolusi 4x pada metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN terhadap lima video rekaman CCTV.

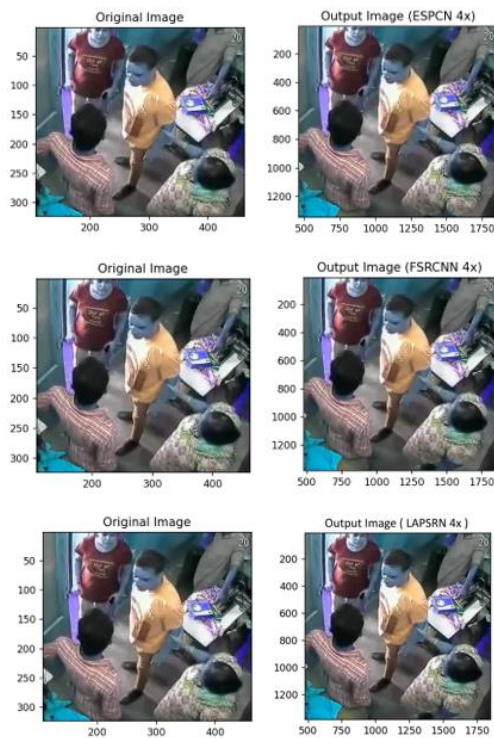
- Pengujian Pada Video 1

Uji coba dilakukan untuk melihat perbandingan ketiga metode pada faktor skala 4x terhadap nilai MSE, RMSE, dan PSNR pada video1.MP4.

Tabel 5. Hasil Pengujian Nilai Metrik Video1.MP4

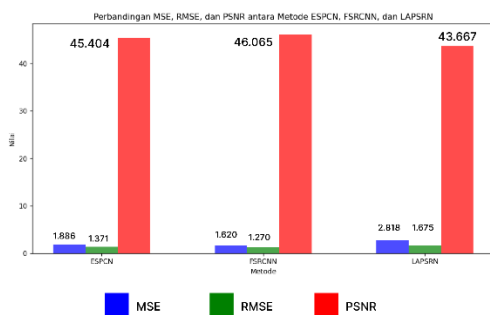
No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	MSE	RMSE	PSNR
1	ESPCN	4x	Video1.mp4	1.886	1.371	45.404
2	FSRCNN	4x	Video1.mp4	1.620	1.270	46.065
3	LAPSRN	4x	Video1.mp4	2.818	1.675	43.667

Berikut hasil perbandingan citra metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN pada video 1.



Gambar 22. Perbandingan Citra Hasil Metode ESPCN, FSRCNN, LAPSRN Pada Video 1

Adapun gambar plot diagram dari pengujian pada video 1 adalah sebagai berikut.



Gambar 23. Perbandingan Nilai Metrik Video 1

- Pengujian Pada Video 2

Uji coba dilakukan untuk melihat perbandingan ketiga metode pada faktor skala 4x terhadap nilai MSE, RMSE, dan PSNR pada video2.MP4.

Tabel 6. Hasil Pengujian Nilai Metrik Video2.MP4

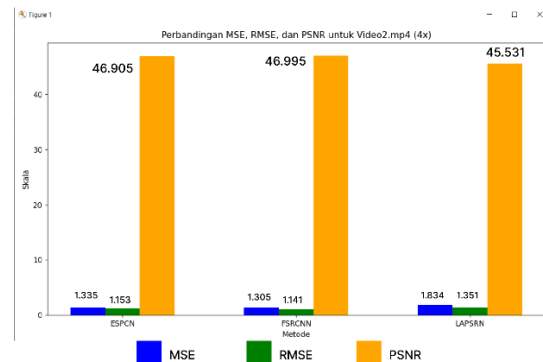
No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	MSE	RMSE	PSNR
1	ESPCN	4x	Video2.mp4	1.335	1.153	46.905
2	FSRCNN	4x	Video2.mp4	1.305	1.141	46.995
3	LAPSRN	4x	Video2.mp4	1.834	1.351	45.531

Berikut hasil perbandingan citra metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN pada video 2.



Gambar 24. Perbandingan Citra Hasil Metode ESPCN, FSRCNN, LAPSRN Pada Video 2

Adapun gambar plot diagram dari tabel hasil pengujian 6 adalah sebagai berikut.



Gambar 25. Perbandingan Nilai Metrik Video 2

- Pengujian Pada Video 3

Uji coba dilakukan untuk melihat perbandingan ketiga metode pada faktor skala 4x terhadap nilai MSE, RMSE, dan PSNR pada video3.MP4.

Tabel 7. Hasil Pengujian Nilai Metrik Video3.MP4

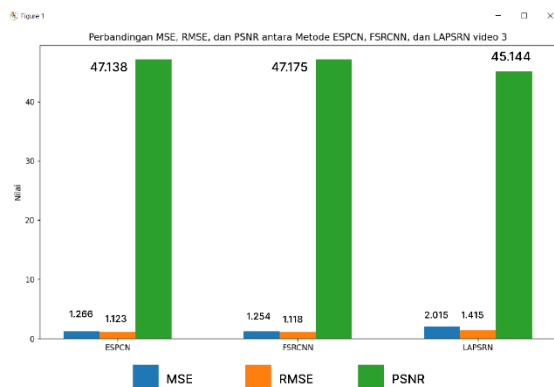
No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	MSE	RMSE	PSNR
1	ESPCN	4x	Video3.mp4	1.266	1.123	47.138
2	FSRCNN	4x	Video3.mp4	1.254	1.118	47.175
3	LAPSRN	4x	Video3.mp4	2.015	1.415	45.144

Berikut hasil perbandingan citra metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN pada video 3.



Gambar 26. Perbandingan Citra Hasil Metode ESPCN, FSRCNN, LAPSRN Pada Video 3

Adapun gambar plot diagram dari tabel hasil pengujian 7 adalah sebagai berikut.



Gambar 27. Perbandingan Nilai Metrik Video 3

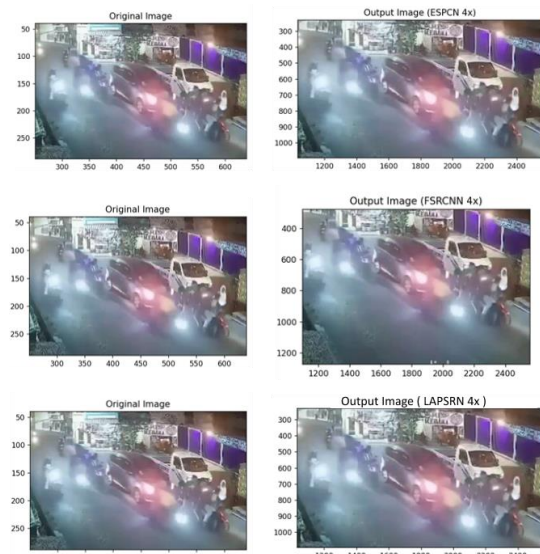
- Pengujian Pada Video 4

Uji coba dilakukan untuk melihat perbandingan ketiga metode pada faktor skala 4x terhadap nilai MSE, RMSE, dan PSNR pada video4.MP4.

Tabel 8. Hasil Pengujian Nilai Metrik Video4.MP4

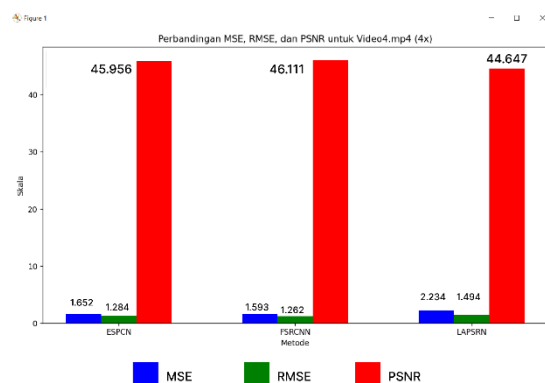
No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	MSE	RMSE	PSNR
1	ESPCN	4x	Video4.mp4	1.652	1.284	45.956
2	FSRCNN	4x	Video4.mp4	1.593	1.262	46.111
3	LAPSRN	4x	Video4.mp4	2.234	1.494	44.647

Berikut hasil perbandingan citra metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN pada video 4.



Gambar 28. Perbandingan Citra Hasil Metode ESPCN, FSRCNN, LAPSRN Pada Video 4

Adapun gambar plot diagram dari tabel hasil pengujian 8 adalah sebagai berikut.



Gambar 29. Perbandingan Nilai Metrik Video 4

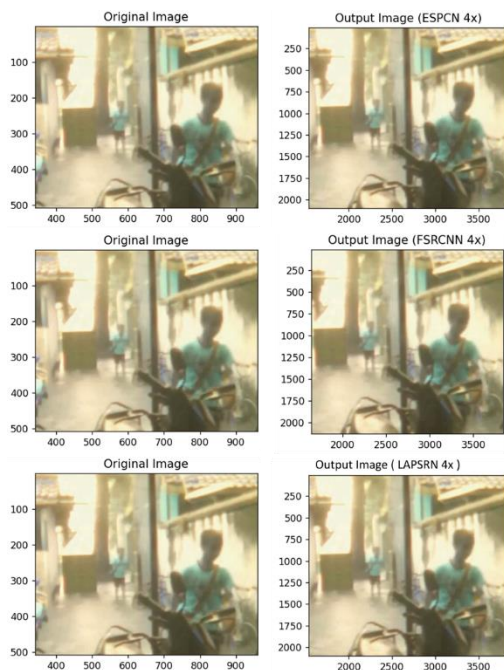
- Pengujian Pada Video 5

Uji coba dilakukan untuk melihat perbandingan ketiga metode pada faktor skala 4x terhadap nilai MSE, RMSE, dan PSNR pada video5.MP4.

Tabel 9. Hasil Pengujian Nilai Metrik Video5.MP4

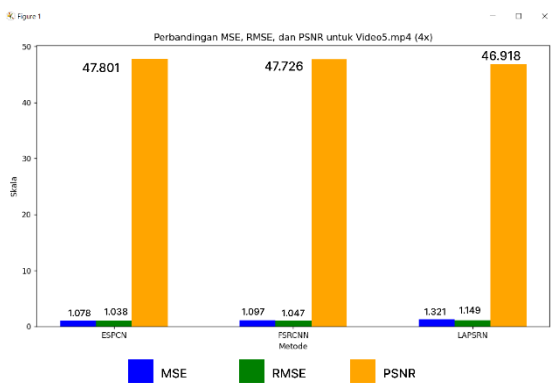
No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	MSE	RMSE	PSNR
1	ESPCN	4x	Video5.mp4	1.078	1.038	47.801
2	FSRCNN	4x	Video5.mp4	1.097	1.047	47.726
3	LAPSRN	4x	Video5.mp4	1.321	1.149	46.918

Berikut hasil perbandingan citra metode ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN pada video 5.



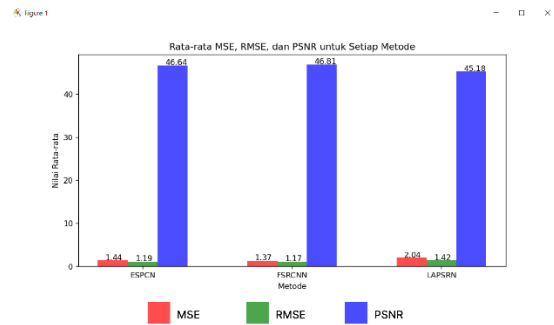
Gambar 30. Perbandingan Citra Hasil Metode ESPCN, FSRCNN, LAPSRN Pada Video 5

Adapun gambar plot diagram dari tabel hasil pengujian 7 adalah sebagai berikut.



Gambar 31. Perbandingan Nilai Metrik Video 5

Dari hasil pengujian nilai metrik MSE, RMSE, dan PSNR pada ketiga metode, yaitu ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN secara keseluruhan, dapat dilihat dalam gambar diagram di bawah ini.



Gambar 32. Perbandingan Rata-rata Nilai Metrik Keseluruhan

Nilai rata-rata yang terlampir pada gambar 32 di atas diperoleh dari persamaan berikut :

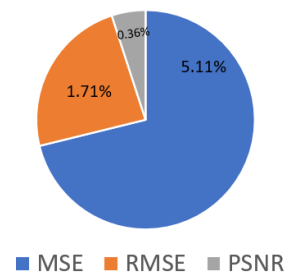
$$\text{MSE rata-rata} = \frac{\sum \text{MSE pada semua video}}{\text{Jumlah video}} \quad (6)$$

$$\text{RMSE rata-rata} = \frac{\sum \text{RMSE pada semua video}}{\text{Jumlah video}} \quad (7)$$

$$\text{PSNR rata-rata} = \frac{\sum \text{PSNR pada semua video}}{\text{Jumlah video}} \quad (8)$$

Adapun persentase keunggulan metode FSRCNN terhadap metode ESPCN dan LAPSRN dapat dilihat pada plot diagram di bawah ini.

PERSENTASE KEUNGGULAN METODE FSRCNN DARI ESPCN



Gambar 33. Persentase Keunggulan Metode FSRCNN Terhadap ESPCN

E. Uji Kecepatan Aplikasi

Pengujian kecepatan aplikasi dilakukan dengan menguji durasi waktu ekstraksi frame untuk ketiga metode dan faktor skala 4x yang digunakan. Selain itu, durasi waktu juga mempertimbangkan nilai metrik dan digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai metode yang paling efektif.

Tabel 10. Hasil Pengujian Kecepatan Aplikasi

No	Metode	Faktor Resolusi	Nama File Video	Ukuran Video	Hasil Ekstraksi Frame	Waktu Eksekusi
1	ESPCN	4x	Video1.mp4	2.55 MB	306	00:05:08
2	ESPCN	4x	Video2.mp4	1.29 MB	300	00:04:36
3	ESPCN	4x	Video3.mp4	1.42 MB	300	00:02:13
4	ESPCN	4x	Video4.mp4	1.73 MB	385	00:03:49
5	ESPCN	4x	Video5.mp4	2.54 MB	392	00:05:13
6	FSRCNN	4x	Video1.mp4	2.55 MB	306	00:04:12
7	FSRCNN	4x	Video2.mp4	1.29 MB	300	00:05:28
8	FSRCNN	4x	Video3.mp4	1.42 MB	300	00:03:09
9	FSRCNN	4x	Video4.mp4	1.73 MB	385	00:05:20
10	FSRCNN	4x	Video5.mp4	2.54 MB	392	00:04:08
11	LAPSRN	4x	Video1.mp4	2.55 MB	306	01:04:36
12	LAPSRN	4x	Video2.mp4	1.29 MB	300	01:06:03
13	LAPSRN	4x	Video3.mp4	1.42 MB	300	00:40:12
14	LAPSRN	4x	Video4.mp4	1.73 MB	385	01:16:29
15	LAPSRN	4x	Video5.mp4	2.54 MB	392	00:51:00

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada pembuatan dan pengujian aplikasi dari berbagai faktor, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Aplikasi Peningkatan Kualitas Citra Pada Video Rekaman CCTV Berbasis Teknologi Deep Learning menggunakan pendekatan SISR yaitu ESPCN, FSRCNN, dan LAPSRN pada faktor skala 2x dan 4x untuk peningkatan resolusi citra
2. Aplikasi dapat dikatakan berhasil dalam melakukan peningkatan resolusi berdasarkan faktor skala dan metode yang diinginkan.
3. Dalam konteks peningkatan resolusi citra dengan faktor skala 4x, FSRCNN memiliki hasil yang lebih unggul dengan perbedaan nilai MSE sebesar 5.11%, nilai RMSE sebesar 1.71%, dan nilai PSNR sebesar 0.36% dibandingkan dengan metode ESPCN.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua, keluarga dan rekan yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi dan nasehat, serta seluruh pihak yang mendukung dan membantu penulis selama ini sehingga penulis diberi kemudahan dalam menyelesaikan penelitian.

REFERENSI

- [1] R. E. Manalu, "Analisis Metode Histogram Equalization Dalam Proses Perbaikan Gambar Closed Circuit Television (CCTV)," *TIN Terap. Inform. Nusant.*, vol. 2, no. 1, pp. 2–6, 2021.
- [2] H. A. Siregar, "Implementasi Metode Sharpening Untuk Memperbaiki Kualitas Citra," *Pelita Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 5–8, 2019.
- [3] P. N. Hasanah, "Implementasi Interpolasi Fractal Untuk Pembesaran Skala Pada Citra

Screen Capture CCTV," vol. 7, no. 1, pp. 63–72, 2020, doi: 10.30865/jurikom.v7i1.1945.

- [4] jurusan teknik mesin L. N. Ikhsanto, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析{Title}," vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [5] Aderibigbe, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," *Energies*, vol. 6, no. 1, pp. 1–8, 2018, [Online]. Available: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- [6] Kade Bramasta Vikana Putra, I Putu Agung Bayupati, and Dewa Made Sri Arsa, "Klasifikasi Citra Daging Menggunakan Deep Learning dengan Optimisasi Hard Voting," *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 5, no. 4, pp. 656–662, 2021, doi: 10.29207/resti.v5i4.3247.
- [7] W. Yang, X. Zhang, Y. Tian, W. Wang, J. H. Xue, and Q. Liao, "Deep Learning for Single Image Super-Resolution: A Brief Review," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 21, no. 12, pp. 3106–3121, 2019, doi: 10.1109/TMM.2019.2919431.
- [8] H. Zhang, P. Wang, C. Zhang, and Z. Jiang, "A comparable study of CNN-based single image super-resolution for space-based imaging sensors," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 14, 2019, doi: 10.3390/s19143234.
- [9] J. ARIFANTO, "Aplikasi Web Pendeteksi Jerawat Pada Wajah Menggunakan Model Deep Learning Dengan Tensorflow," 2022, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/37886%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/37886/17523216.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] T. Susim and C. Darujati, "Pengolahan Citra untuk Pengenalan Wajah (Face Recognition) Menggunakan OpenCV," *J. Heal. Sains*, vol. 2, no. 3, pp. 534–545, 2021, doi: 10.46799/jsa.v2i3.202.
- [11] A. C. Darmawan and L. Iswari, "Pengembangan Aplikasi Berbasis Web dengan Python Flask untuk Klasifikasi Data Menggunakan Metode Decision Tree C4.5," *J. Pendiidikan Konseling*, vol. 4, no. 5, pp. 5351–5362, 2022.