

IMPLEMENTASI REAL-ESRGAN UNTUK PENINGKATKAN RESOLUSI CITRA BANGUNAN BERSEJARAH DI INDONESIA

Ananda Feri Setyawan¹, Sri Mulyono²

Universitas Islam Sultan Agung Semarang^{1,2}

anandasetyawan123@std.unissula.ac.id¹, sri.m@unissula.ac.id²

*Corresponding author: Ananda Feri Setyawan

Abstrak

Pelestarian citra digital bangunan bersejarah di Indonesia menghadapi tantangan besar akibat degradasi visual seperti blur, noise, kompresi, dan penurunan resolusi yang terjadi selama proses digitalisasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode Real-ESRGAN untuk meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah yang terdampak degradasi kompleks tanpa informasi eksplisit mengenai jenis degradasinya. Model dilatih menggunakan dataset Flickr2k untuk citra bangunan bersejarah yang beresolusi tinggi yang kemudian diproses dengan High-Order Degradation Model agar menyerupai kondisi degradasi nyata sebagai data training dan data dari Leiden University Libraries sebagai data testing untuk citra bangunan bersejarah beresolusi rendah. Evaluasi performa dilakukan menggunakan metrik CLIP-IQA sebagai metode no-reference image quality assessment berbasis representasi semantik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik diperoleh pada epoch ke-119 dengan skor CLIP-IQA sebesar 0,70863, menandakan peningkatan kualitas perseptual citra yang signifikan. Model ini menunjukkan potensi dalam mendukung pelestarian digital warisan budaya Indonesia melalui peningkatan kualitas citra beresolusi rendah menjadi lebih tajam dan realistis.

Kata Kunci : *Real-ESRGAN, High-Order Degradation Model, CLIP-IQA dan Citra Bangunan Bersejarah.*

A. PENDAHULUAN

Pelestarian warisan budaya Indonesia dalam bentuk digital merupakan upaya strategis menjaga keberlanjutan nilai historis di tengah perkembangan digitalisasi (Safira dkk., 2020). Contoh warisan budaya yang perlu dilestarikan dalam bentuk digital di Indonesia adalah foto bangunan bersejarah (Agustinova, 2022). Tantangan utama dalam peningkatan resolusi citra adalah degradasi yang kompleks dan tak terduga seperti kerusakan fisik menjadi suatu permasalahan dalam dokumentasi bangunan bersejarah (Sarwito dkk., 2024). Untuk mengatasi tantangan tersebut, (X. Wang dkk., 2021) mengembangkan pendekatan *High-Order Degradation Model*. Model ini mensimulasikan proses degradasi secara bertingkat dengan kombinasi *blur*, *downsampling*, *noise*, dan *compression* yang disusun secara acak untuk menirukan kondisi kerusakan nyata pada citra.

Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan resolusi citra adalah super resolution, yaitu teknik yang menghasilkan citra beresolusi tinggi dari citra beresolusi rendah (Rohim dkk., 2024). Berbagai metode telah digunakan untuk implementasi super-resolution, seperti Hardiansyah dkk., 2019 menggunakan interpolasi bicubic dengan objek citra umum dan hasilnya upscale 3 kali lebih baik dari upscale 4 kali. Pada penelitian Zhang & Yu, 2022 menggunakan interpolasi bicubic dan SRGAN dengan objek citra permukaan tanah, hasil penelitiannya menunjukkan SRGAN menjadi model dengan performa terbaik. Pada penelitian Nandal dkk., 2024 menggunakan SRGAN, ESRGAN dan Real-ESRGAN dengan objek citra medis, hasil penelitiannya menunjukkan Real-ESRGAN menjadi model dengan performa terbaik.

Berdasarkan uraian sebelumnya, permasalahan resolusi citra yang rendah dapat diatasi dengan meningkatkan resolusi citra. Dalam penelitian ini, digunakan metode Real-ESRGAN (Real-Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network) untuk mengatasi permasalahan tersebut. Metode Real-ESRGAN dirancang untuk menghasilkan citra *super resolution* dengan kualitas yang lebih realistis dan detail dari *input* gambar beresolusi rendah dengan degradasi yang kompleks dan tidak terduga (X. Wang dkk., 2021). Oleh karena itu solusi relevan untuk mengatasi permasalahan pada citra bangunan bersejarah sebagai pelestarian warisan budaya dalam bentuk digital di Indonesia.

Dalam mendukung validitas penelitian, Evaluasi model menggunakan metrik objektif Contrastive Language-Image Pretraining for Image Quality Assessment (CLIP-IQA) yaitu metode

evaluasi kualitas gambar tanpa referensi (No-Reference) yang berbasis model CLIP. CLIP-IQA mampu menilai kualitas perseptual gambar secara langsung tanpa data ground truth (data asli) karena menggunakan representasi semantik dari model CLIP yang telah dilatih sebelumnya pada pasangan citra dan teks (Wang dkk., 2022).

Fokus utama dalam penelitian ini adalah peningkatan resolusi citra bangunan bersejarah di Indonesia dengan tahap preprocessing datanya menggunakan high-order degradation model sebagai simulasi degradasi yang kompleks. Selain itu terdapat perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu penggunaan dataset Flickr2k sebagai data training untuk citra bangunan bersejarah yang beresolusi tinggi dan data dari Leiden University Libraries sebagai data testing untuk citra bangunan bersejarah beresolusi rendah.

Berdasarkan uraian latar belakang permasalahan sebelumnya, maka dirumuskan penelitian penerepan dan mengukur kinerja model Real-ESRGAN untuk meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah di Indonesia. Penelitian ini diharapkan juga dapat membantu memperbaiki kualitas citra menjadi lebih baik. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam penelitian super resolution sebuah citra.

B. LANDASAN TEORI

1. Citra Bangunan Bersejarah Di Indonesia

Bangunan bersejarah dalam konteks pelestarian budaya merupakan dokumentasi visual bangunan bersejarah untuk upaya strategis menjaga keberlanjutan nilai historis di tengah perkembangan digitalisasi (Safira dkk., 2020). Namun, dalam dokumentasi citra bangunan bersejarah sering kali mengalami berbagai degradasi seperti *blur*, *noise* dan sampai jenis degradasinya tidak dapat diidentifikasi secara pasti. Permasalahan ini menyebabkan detail nilai historisnya rentan terdistorsi atau hilang.

2. Generative Adversarial Network (GAN)

GAN merupakan pendekatan baru dalam pembelajaran mesin generatif, di mana dua jaringan saraf buatan (*neural network*) saling bersaing dalam kerangka permainan dua pihak (*game theory*) (Goodfellow dkk., 2014). GAN adalah sebuah arsitektur jaringan sebagai pendekatan inovatif untuk menghasilkan data baru yang menyerupai data asli dengan terdiri dari dua jaringan yang saling berkompetisi yaitu *generator* yang menciptakan data sintetis dan *discriminator* yang membedakan antara data nyata dan buatan.

3. Super-Resolution Generative Adversarial Network (SRGAN)

SRGAN merupakan pengembangan dari konsep GAN dengan metode yang dapat menghasilkan gambar realistis secara alami untuk faktor perbesaran 4 kali (Ledig dkk., 2017). Pada SRGAN model *generator* dapat membuat gambar beresolusi tinggi dari gambar resolusi rendah. Kemudian, *discriminator* dapat membanding gambar resolusi tinggi asli dengan gambar yang dihasilkan dari *generator*. Tujuannya membuat *discrimintor* agar tidak dapat membedakan gambar asli dengan gambar yang dihasilkan *generator*. Sehingga, metode ini dapat menghasilkan gambar resolusi tinggi yang realistis

4. Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks (ESRGAN)

ESRGAN merupakan pengembangan dari SRGAN dengan peningkatan arsitektur dan fungsi *loss* agar menghasilkan citra *super-resolusi* yang lebih tajam dan realistis (Wang dkk., 2018). Secara umum, ESRGAN terdiri dari dua jaringan utama yaitu *generator* dan *discriminator*, yang dilatih secara *adversarial* menggunakan *Generative Adversarial Networks (GAN)*.

5. Real Enhanced Super Resolution Generative Adversarial Network (Real-ESRGAN)

Real ESRGAN adalah pengembangan dari metode ESRGAN yang ditujukan untuk mengatasi masalah *blind super-resolution* yaitu peningkatan resolusi gambar dari citra resolusi rendah (*low resolution*) ke citra resolusi tinggi (*high resolution*) tanpa mengetahui bentuk degradasi yang terjadi. Gambar resolusi rendah dalam kasus nyata tidak hanya dihasilkan oleh proses *downsampling* biasa, namun juga kombinasi dari *blur*, *noise*, kompresi dan sampai jenis degradasinya tidak dapat diidentifikasi secara pasti.

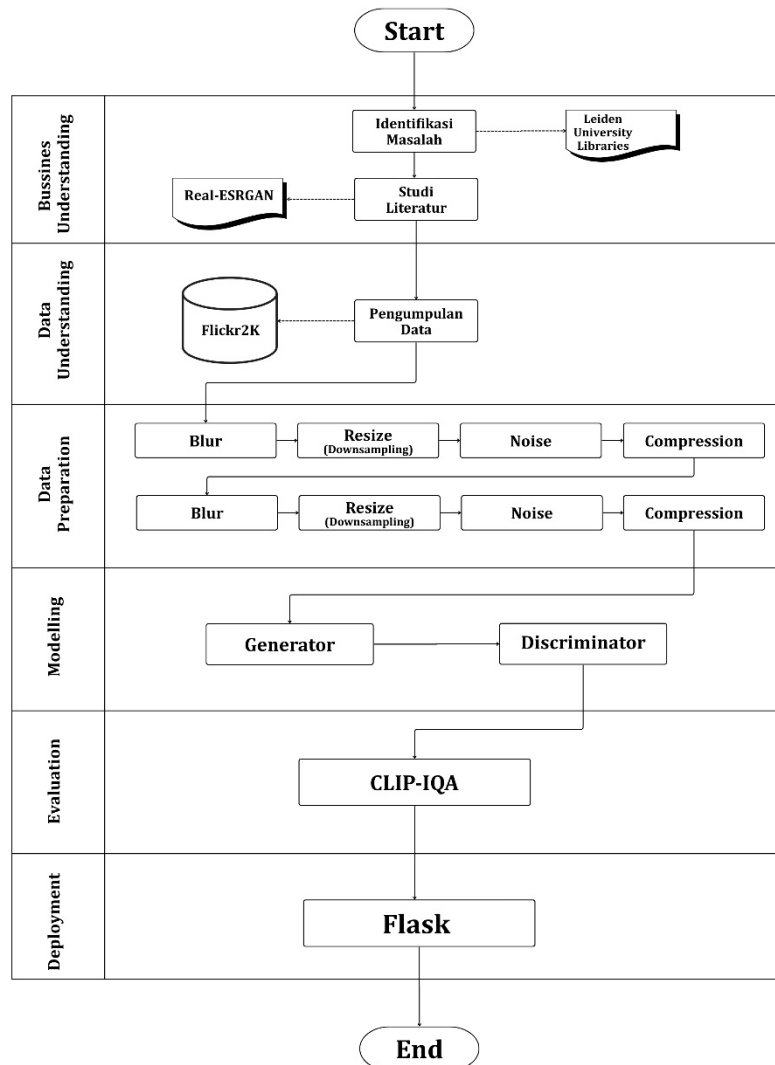
6. Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)

CRISP-DM adalah salah satu model proses yang digunakan dalam data mining. Metode ini dikembangkan pada tahun 1996, dan versi pertamanya diperkenalkan secara resmi pada tahun 1999 dalam sebuah workshop yang diselenggarakan oleh CRISP-DM SIG (*Special Interest Group*)

(Shearer, 2000). Metode ini dapat diterapkan pada *deep learning* dikarenakan memiliki proses yang terstruktur dan sistematis. Prosesnya dibagi menjadi enam tahap yaitu *bussiness understanding*, *data understanding*, *data preparation*, *modelling*, *evaluation*, dan *deployment*.

C. METODE PENELITIAN

Metode CRISP-DM digunakan sebagai pendekatan penelitian untuk merancang, implementasi dan mengukur model Real-ESRGAN dalam meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah. Penelitian ini memerlukan beberapa tahapan yang disajikan pada gambar :



Gambar 1. Flowchart metode penelitian

1. *Bussines understanding*

Pemahaman bisnis atau penelitian dilatar belakangi permasalahan citra bangunan bersejarah yang beresolusi rendah dengan berbagai degradasi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, resolusi citra ditingkatkan dengan metode Real-ESRGAN. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan menguji kinerja model Real-ESRGAN dalam meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah. Tujuan tersebut dapat dicapai apabila penelitian dapat menghasilkan model yang optimal dalam meningkatkan resolusi citra. Sehingga, perlu perancangan yang baik untuk mencapai tujuan tersebut.

2. *Data understanding*

Pemahaman data pada penelitian ini adalah penggunaan dataset Flickr2k sebagai data training untuk citra bangunan bersejarah yang beresolusi tinggi dan data dari Leiden University Libraries sebagai data testing untuk citra bangunan bersejarah beresolusi rendah. Ketersediaan ini menjadikan data tersebut cocok digunakan sebagai dataset untuk melatih model deep learning seperti Real-

ESRGAN. Data citra semua memiliki format *Portable Network Graphics* (PNG). Jumlah data yang akan dipakai dibatasi sebanyak 2.000 citra untuk *training* dan 2 citra yang diberikan berbagai jenis degradasi sehingga menghasilkan total 12 citra pengujian. Pembatasan ini dilakukan karena tidak adanya sumber daya yang cukup untuk memakai semua data yang ada pada dataset

3. *Data preparation*

Persiapan data dapat dilatih pada model menggunakan *high-order degradation model*. Model ini mensimulasikan proses degradasi citra resolusi rendah secara bertahap agar menyerupai kondisi nyata. Tahap ini dilakukan melalui beberapa proses berurutan, yaitu *blur*, *resize (downsampling)*, *noise*, dan *JPEG compression*.

4. *Modeling*

Pelatihan data berdasarkan arsitektur Generative Adversarial Networks (GAN) dengan tujuan meningkatkan kualitas citra bangunan bersejarah di Indonesia. Metode ini terdiri dari dua komponen, yaitu model generator sebagai pembuat data dan model discriminator sebagai pembeda antara data asli dengan data yang dibuat *generator* sehingga secara kompetitif menghasilkan gambar *super-resolution* dengan kualitas yang optimal.

5. *Evaluation*

Pengujian merupakan uji validitas yang dilakukan untuk mengetahui kinerja model Real-ESRGAN. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Contrastive Language-Image Pretraining for Image Quality Assessment* (CLIP-IQA). CLIP-IQA merupakan pendekatan *no-reference image quality assessment* (NR-IQA) atau tidak memerlukan citra referensi (*ground truth*) untuk melakukan evaluasi kualitas. Hal ini menjadikannya fleksibel dalam situasi di mana citra asli tidak tersedia atau sulit diakses.

6. *Deployment*

Pada penelitian ini menggunakan media yang dipakai berbasis *website* yang dibuat menggunakan *framework* Flask. Flask adalah *framework web* sederhana dan ringan yang dibuat dengan bahasa pemrograman Python. Penggunaan flask dikarenakan mudah integrasi ke dalam kote python dan mudah dihubungkan dengan HTML serta *javascript*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. *Bussines understanding*

Hasil dari pemahaman bisnis adalah penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Setiap tahapan dapat dilakukan sesuai rencana dan menghasilkan hasil yang diharapkan.

2. *Data understanding*

			
CLIP-IQA Score : 0.9724	CLIP-IQA Score : 0.9311	CLIP-IQA Score : 0.9252	CLIP-IQA Score : 0.965

Gambar 2. Contoh citra *training* dari Flickr2k

Pada gambar 2 merupakan contoh data *training* berasal dari dataset Flickr2k. Data tersebut adalah kumpulan foto beresolusi tinggi dari situs Flickr.com, dataset ini memiliki berbagai variasi seperti bangunan, hewan, tumbuhan dan manusia. Data yang dipakai berjumlah 2000 citra dengan resolusi yang bervariasi dan memiliki format *file Portable Network Graphics* (PNG). Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan CLIP-IQA, citra dari flickr.com memperoleh skor dengan rata-rata diatas 0,9. Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas citra mendekati nilai maksimal, yaitu 1 (satu).



CLIP-IQA Score : 0,8264



CLIP-IQA Score : 0,4007

Gambar 3. Citra Candi Borobudur dan Menara Kudus (Leiden University Libraries abad 19)

Gambar 4.2 merupakan citra bangunan bersejarah yang diperoleh dari koleksi Leiden University Libraries. Citra ini akan digunakan sebagai data uji (testing) dalam penelitian, dimana nanti citra tersebut akan ditambahkan berbagai degradasi seperti *blur*, *noise*, *resize* dan kompresi. Format file citra tersebut adalah *Portable Network Graphics* (PNG) dengan model warna (*Red, Green, Blue*) RGB dan model *black white* serta saat ini masih dalam kondisi asli dari sumbernya tanpa penambahan degradasi. Namun citra ini telah mengalami degradasi visual akibat proses digitalisasi arsip dan usia dokumen meskipun jenis degradasi tersebut tidak dapat diidentifikasi secara pasti. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan CLIP-IQA, citra Candi Borobudur memperoleh skor sebesar 0,8264 dan Menara Kudus sebesar 0,4007. Nilai ini menunjukkan bahwa kualitas citra masih bisa ditingkatkan lebih lanjut agar mendekati nilai maksimal, yaitu 1 (satu).

3. Data preparation

Tahap ini menggunakan *high-order degradation model* dengan mensimulasikan proses degradasi citra resolusi rendah secara bertahap dan kompleks agar menyerupai kondisi nyata. Tahap ini dilakukan melalui beberapa proses berurutan, yaitu *blur*, *resize (downsampling)*, *noise*, dan *JPEG compression*.



Gambar Asli

(180 kb) 1024 x 768 px



Gambar *Final Degraded*

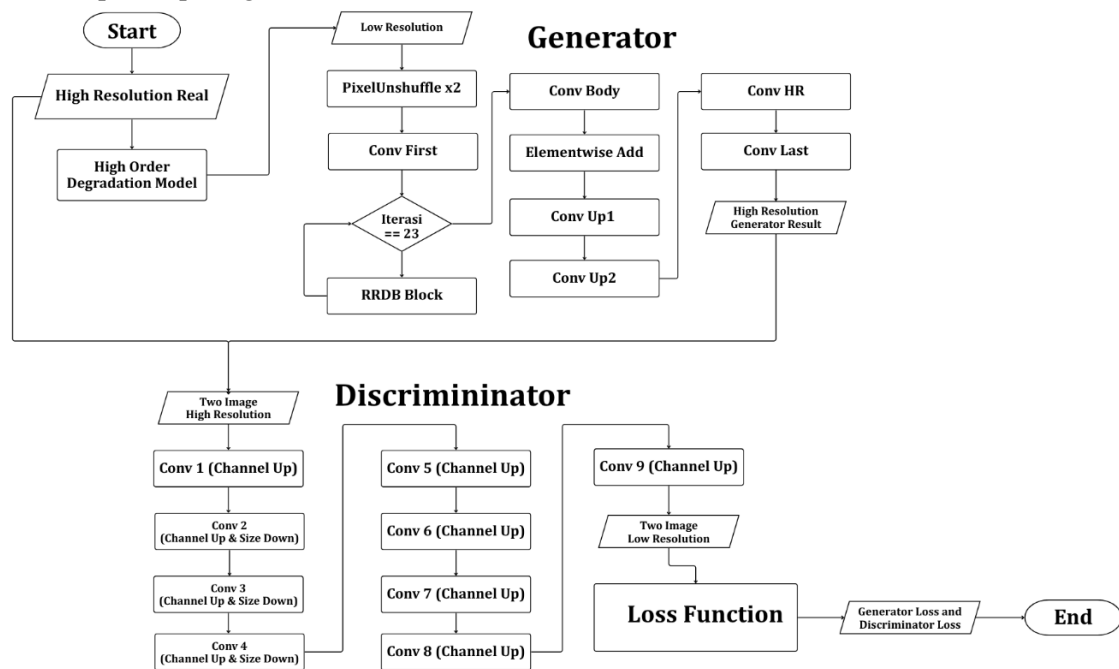
(5.65 kb) 256 x 192 px

Gambar 4. Perbedaan antara gambar asli dengan setelah proses *high-order degradation model*

Sebagai ilustrasi hasil proses tersebut, Gambar 4 sebelah kiri merupakan citra asli bangunan bersejarah yang digunakan dalam penelitian, sedangkan Gambar 4 sebelah kanan menunjukkan hasil akhir citra setelah mengalami proses degradasi sesuai skema.

4. Modeling

Modeling atau pemodelan merupakan tahap untuk membuat model yang akan menyelesaikan permasalahan penelitian. Pada tahap ini, dilakukan penerapan metode Real-ESRGAN sesuai arsitektur model yang dirancang pada bab sebelumnya. Adapun hasil pemodelan menggunakan metode Real-ESRGAN ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 5. Alur proses *modeling* pada metode Real-ESRGAN

Gambar di atas menunjukkan alur arsitektur dari model Real-ESRGAN yang terdiri dari 2 (dua) komponen utama, yaitu generator dan discriminator. Proses diawali dengan input berupa citra resolusi tinggi yang kemudian diberikan ke high order degradation model untuk mensimulasikan berbagai bentuk degradasi kompleks seperti blur, noise, resize dan kompresi. Hasil degradasi ini menjadi citra resolusi rendah yang kemudian masuk ke dalam generator. Di dalam generator, proses dimulai dari Pixel Unshuffle dan Conv First, lalu dilanjutkan ke 23 blok RRDB (Residual-in-Residual Dense Blocks) yang bertugas mengekstraksi dan memperdalam citra. Setelahnya, citra yang telah diperoleh melalui jalur konvolusi diproses melalui lapisan upsampling (Conv Up1, Conv Up2) dan dilanjutkan hingga menghasilkan citra resolusi tinggi baru sebagai output dari generator.

Selanjutnya, citra hasil dari generator dan citra resolusi tinggi asli digunakan sebagai input bagi discriminator. Discriminator bertugas membedakan antara citra hasil rekonstruksi dengan citra asli melalui serangkaian lapisan konvolusi (Conv 1–Conv 9) yang bertahap menaikkan jumlah channel dan menurunkan ukuran spasial. Informasi dari kedua citra (real dan hasil) dikirimkan ke fungsi loss yang akan menghitung generator loss dan discriminator loss. Output dari fungsi loss ini menjadi dasar dalam proses pembelajaran model yang kemudian digunakan untuk memperbarui parameter jaringan. Dengan pendekatan ini, Real-ESRGAN mampu meningkatkan kualitas citra resolusi rendah menjadi lebih tajam, realistis dan kondisi degradasi nyata.

5. Evaluation

Tahap evaluasi dilakukan untuk menguji kinerja model Real-ESRGAN apakah model yang dihasilkan dapat mengatasi masalah pada pemahaman bisnis sebelumnya. Evaluasi juga dilakukan untuk menemukan kinerja model yang optimal untuk dapat diterapkan pada tahap *deployment*. Dengan begitu, aplikasi dapat mengatasi masalah resolusi rendah pada citra dengan baik.

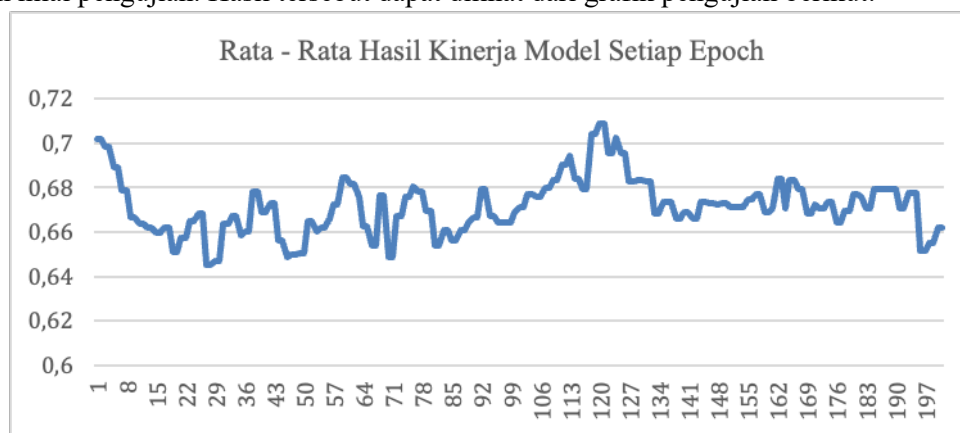
Kinerja metode Real-ESRGAN dalam penelitian ini diuji menggunakan metode *Contrastive Language–Image Pretraining Image Quality Assessment* (CLIP-IQA) yang merupakan pendekatan *no-reference* dalam menilai kualitas persepsi visual citra. Pengujian dilakukan berdasarkan jumlah epoch pelatihan, dengan menilai skor CLIP-IQA pada citra hasil yang telah ditingkatkan resolusinya. Berdasarkan hasil pengujian mendapatkan hasil rata-rata dengan perhitungan total hasil dibagi total

citra, model pada epoch ke-119 menunjukkan performa terbaik dengan rata-rata skor CLIP-IQA *output* sebesar 0,70863 sehingga menandakan bahwa citra hasil dari model tersebut memiliki tingkat kemiripan perseptual tertinggi dan membuktikan bahwa Real-ESRGAN memiliki kemampuan yang baik dalam meningkatkan kualitas persepsi visual citra bangunan bersejarah di Indonesia. Adapun tabel, grafik dan contoh pengujian secara keseluruhan dari rata-rata kinerja model pada setiap epoch sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil evaluasi CLIP-IQA

<i>Epoch</i>	Rata-Rata CLIP-IQA Score
50	0,66457
119	0,70863
150	0,67124
175	0,66444
200	0,66195

Tabel 1 merupakan hasil evaluasi yang memiliki nilai rata-rata tertinggi dari total pengujian yaitu 200 *epoch*. Hasil pengujian diambil dari rata-rata nilai pengujian *testing* citra. Nilai tersebut berasal dari pengujian setiap *epoch* dengan 12 (lima) citra *testing* dan mendapatkan nilai rata-rata dari penjumlahan nilai pengujian. Hasil tersebut dapat dilihat dari grafik pengujian berikut:



Gambar 5. Grafik hasil evaluasi CLIP-IQA

Pengujian CLIP-IQA dapat dilihat pada gambar 5. Nilai CLIP-IQA hasil pengujian ini menunjukkan nilai yang fluktuatif *epoch* seperti pada gambar 5. Akan tetapi, cenderung meningkat. Nilai terbaik berdasarkan pengujian CLIP-IQA sebesar 0,70863 yaitu pada epoch 119. Nilai ini menunjukkan citra hasil Real-ESRGAN yang paling baik ada pada epoch 119 berdasarkan pengujian CLIP-IQA. Hasil tersebut menunjukkan kinerja citra yang dihasilkan model cukup baik.

Original	Add Blur	Add Noise	Add Resize	Add Compression	Add Four Degradation
					
0,8264	0,7806	0,8154	0,7979	0,3918	0,4026
SR Original	SR Add Blur	SR Add Noise	SR Add Resize	SR Add Compression	SR Add Four Degradation
					
0,9389	0,8888	0,9387	0,9664	0,8945	0,8846

Gambar 6 Nilai CLIP-IQA pada citra *testing* Candi Borobudur

Original	Add Blur	Add Noise	Add Resize	Add Compression	Add Four degradation
					
0,4007	0,357	0,3808	0,3896	0,2247	0,3303
SR Original	SR Add Blur	SR Add Noise	SR Add Resize	SR Add Compression	SR Add Four degradation
					
0,5225	0,6171	0,5335	0,5623	0,3415	0,7978

Gambar 7 Nilai CLIP-IQA pada citra *testing* Menara Kudus

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hasil evaluasi kualitas citra menggunakan metrik CLIP-IQA pada dua citra *testing* yaitu Candi Borobudur dan Menara Kudus. masing-masing sebelum dan sesudah pemrosesan *super-resolution* (SR) serta setelah ditambahkan berbagai jenis degradasi seperti *blur*, *noise*, *resize*, *compression*, dan kombinasi keempatnya. Nilai CLIP-IQA yang ditampilkan berasal dari model pada epoch ke-119, di mana secara umum terlihat bahwa nilai kualitas citra meningkat secara signifikan setelah diproses model Real-ESRGAN menjadi *high resolution*, khususnya pada kasus degradasi ringan hingga sedang. Sebagai contoh, pada citra Candi Borobudur skor CLIP-IQA untuk gambar dengan penambahan *blur* meningkat dari 0,7806 menjadi 0,8888 setelah SR. Demikian pula, pada citra Menara Kudus, skor pada kondisi empat degradasi meningkat dari 0,3303 menjadi 0,7978. Dari keseluruhan 12 nilai CLIP-IQA yang diperoleh (6 dari masing-masing citra), diperoleh nilai rata-rata sebesar 0,70863, yang merepresentasikan performa model terhadap peningkatan kualitas visual citra hasil SR dibandingkan citra referensi yang telah mengalami degradasi.

6. Deployment

Tahap *deployment* merupakan implementasi model pada media berbasis *website*. Pada tahap ini menampilkan hasil implementasi dari rancangan pada bab sebelumnya. Adapun implementasi dapat dilihat pada beberapa gambar 7 dan 8 berikut.

IMPLEMENTASI REAL-ESRGAN UNTUK PENINGKATAN CITRA BANGUNAN
BERSEJARAH DI INDONESIA

Oleh : Ananda Feri Setyawan (32602100003)
Dosen Pembimbing : Ir. Sri Mulyono, M.Eng

Preview

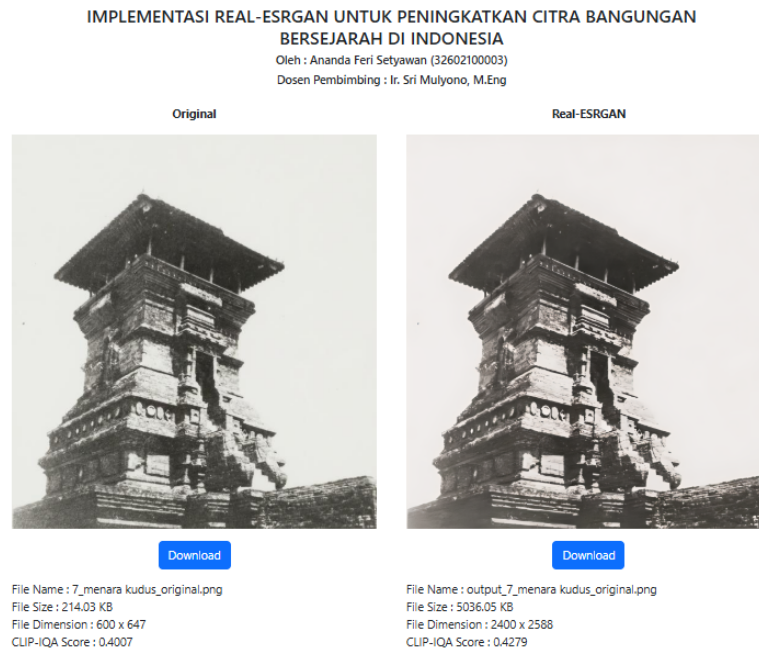


7_menara_kudus_original.png

Choose an image file or drag it here.

Gambar 7. Halaman *upload* citra resolusi rendah

Gambar 7 menampilkan halaman awal aplikasi. Pada halaman ini terdapat form *input* untuk *upload file* gambar resolusi rendah. *File* gambar dapat berupa citra resolusi rendah dengan format jpg atau png.



Gambar 8. Halaman output citra resolusi tinggi

Halaman selanjutnya ialah output dari aplikasi setelah upload file. Halaman ini dapat dilihat pada gambar 8. Hasil pembesaran resolusi citra pada halaman ini. Selain itu, citra asli juga ditampilkan pada halaman ini. Citra dapat diunduh dengan menekan tombol download.

E. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan model Real-ESRGAN dalam upaya meningkatkan resolusi pada citra bangunan bersejarah di Indonesia. Seluruh tahapan yang dirancang dalam proses penelitian, mulai dari persiapan data, penerapan degradasi kompleks, hingga pelatihan model telah berhasil dijalankan sesuai rencana

Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi kinerja Real-ESRGAN dalam meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah Indonesia dari koleksi Leiden University Libraries. Citra tersebut mengalami degradasi visual akibat usia, proses digitalisasi, dan keterbatasan teknologi dokumentasi. Namun, jenis degradasi yang terjadi tidak diketahui secara pasti sehingga pendekatan yang digunakan difokuskan pada peningkatan resolusi citra secara umum tanpa diketahui jenis degradasinya. Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metrik *no-reference* CLIP-IQA, yang menilai kualitas citra berdasarkan kesesuaian perseptual terhadap representasi semantik. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan kualitas perseptual terbaik pada epoch ke-119 dengan skor CLIP-IQA sebesar 0,70863. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa model Real-ESRGAN mampu dala meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah yang telah terdegradasi, meskipun tanpa informasi pasti mengenai jenis degradasi yang dialami.

Penelitian ini menghasilkan model Real-ESRGAN yang dapat meningkatkan resolusi citra bangunan bersejarah. Akan tetapi, masih terdapat kekurangan atau pun hal yang dapat diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya ialah sebagai berikut:

1. Menggabungkan metode Real-ESRGAN dengan metode lain untuk meningkatkan kinerja model.
2. Menggunakan metode *preprocessing* yang berbeda untuk menghasilkan citra resolusi rendah yang beragam.
3. Melatih model dengan lebih banyak data dan jumlah epoch yang lebih banyak.
4. Mengidentifikasi jenis degradasi yang terjadi pada citra bangunan bersejarah agar lebih spesifik pada tahap training.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinova, D.E. (2022) 'Strategy for Maintaining Cultural Heritage Objectives', 18(2), pp. 60–68.
- Goodfellow, I. et al. (2014) 'Generative adversarial networks', *Communications of the ACM*, 63(11), pp. 139–144. Available at: <https://doi.org/10.1145/3422622>.
- Hardiansyah, B., Armin, A.P. and Yunanda, A.B. (2019) 'Rekonstruksi Citra Pada Super Resolusi Menggunakan Interpolasi Bicubic', *INTEGER: Journal of Information Technology*, 4(2), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.31284/j.integer.2019.v4i2.684>.
- Ledig, C. et al. (2017) 'Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network', pp. 4681–4690.
- Nandal, P. et al. (2024) 'Super-resolution of medical images using real ESRGAN', *IEEE Access*, (December), pp. 176155–176170. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3497002>.
- Rohim, M.I.A. et al. (2024) 'Peningkatan Performa Pengenalan Wajah pada Gambar Low-Resolution Menggunakan Metode Super-Resolution', *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(1), pp. 199–208. Available at: <https://doi.org/10.25126/jtiik.20241117947>.
- Safira, F. et al. (2020) 'Peran Arsip Dalam Pelestarian Cagar Budaya Di Indonesia: Sistematika Review', *Baca: Jurnal Dokumentasi Dan Informasi*, 41(2), p. 289. Available at: <https://doi.org/10.14203/j.baca.v41i2.593>.
- Sarwito, J., Kesia, B. and Vania, C. (2024) 'PENDEKATAN DIGITAL DALAM PENELITIAN SEJARAH ARSITEKTUR: TEKNOLOGI PEMODELAN DAN REKONSTRUKSI 3D PADA BANGUNAN KOLONIAL DI SEMARANG', 4(1), pp. 3–8. Available at: <https://doi.org/10.24167/joda.v4i1.12771>.
- Shearer, C. (2000) 'The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining', *Journal of data warehousing*, 5(4), pp. 13–22.
- Wang, J., Chan, K.C.K. and Loy, C.C. (2022) 'Exploring CLIP for Assessing the Look and Feel of Images', *Proceedings of the 37th AAAI Conference on Artificial Intelligence*, AAAI 2023, 37, pp. 2555–2563. Available at: <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i2.25353>.
- Wang, X. et al. (2018) 'ESRGAN: Enhanced super-resolution generative adversarial networks', *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 11133 LNCS, pp. 63–79. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11021-5_5.
- Wang, X. et al. (2021) 'Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data', *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2021-Octob, pp. 1905–1914. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICCVW54120.2021.00217>.
- Zhang, Y. and Yu, W. (2022) 'Comparison of DEM Super-Resolution Methods Based on Interpolation and Neural Networks', *Sensors*, 22(3). Available at: <https://doi.org/10.3390/s22030745>.