

Penerapan Real-ESRGAN untuk Restorasi dan Rekompresi Arsip Penyiaran Video Resolusi Standar

¹Umri Erdiansyah, ²Novira Dwina, ³Afla Nevrisa, ⁴Hosea Sitepu

^{1*}, ², ³, ⁴Teknologi Informasi dan Komputer, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Indonesia

*Korespondensi: umri@pnl.ac.id

Submit : 18 Jun 2026 | Diterima : 06 Jul 2026 | Terbit : 28 Agust 2026

ABSTRACT

The modern broadcasting industry requires visual content in high-definition (HD) resolution. This technological transition creates critical issues in digital asset management, specifically regarding legacy broadcasting archives that are primarily recorded in standard definition (SD) formats. Conventional spatial interpolation approaches fail to address this issue, producing blurry and pixelated images. The application of artificial intelligence, particularly the Real-ESRGAN algorithm, offers a promising restoration solution. However, this implementation significantly increases the raw file size, making it impractical for local server storage. This research aims to find a precise equilibrium between visual quality enhancement using AI and storage efficiency through High-Efficiency Video Coding (HEVC) compression. This study uses a quantitative experimental method via laboratory-scale software engineering. The intervention phases include pixel reconstruction using the AI model and file size reduction using the HEVC standard. Data collection involved ten SD video samples. Real-ESRGAN qualitatively restores texture details and removes analog noise without excessive artifacts. Due to file size expansion, further compression using HEVC with varying Constant Rate Factor (CRF) parameters is being conducted to reduce the size by over 50% without severe Video Multimethod Assessment Fusion (VMAF) metric degradation. The integration of AI upscaling and HEVC compression creates a highly applicable workflow for television industry needs.

Keywords: Artificial Intelligence, Broadcasting Archive, HEVC Compression, Real-ESRGAN, Video Upscaling.

ABSTRAK

Industri penyiaran modern saat ini mewajibkan penayangan konten visual dalam format beresolusi definisi tinggi (HD). Transisi teknologi ini memunculkan permasalahan krusial pada manajemen aset digital, khususnya terkait arsip penyiaran lawas yang mayoritas masih terekam dalam format resolusi rendah atau *Standard Definition* (SD). Pendekatan konvensional menggunakan interpolasi spasial linier terbukti gagal dan menghasilkan gambar yang memburam. Penerapan kecerdasan buatan, khususnya algoritma Real-ESRGAN, menawarkan solusi restorasi menjanjikan, namun implementasinya menghasilkan ukuran fail mentah yang membengkak drastis. Penelitian ini merumuskan titik keseimbangan antara peningkatan kualitas visual menggunakan AI dan efisiensi ruang penyimpanan melalui kompresi tingkat lanjut. Penelitian menggunakan metode eksperimental kuantitatif berskala laboratorium dengan dua fase utama: rekonstruksi piksel menggunakan model AI dan reduksi ukuran fail menggunakan standar kompresi HEVC. Sepuluh sampel video SD dikurasi dan dieksekusi menggunakan perangkat keras GPU. Hasil menunjukkan algoritma Real-ESRGAN mampu merestorasi detail tekstur dan menghilangkan derau tanpa artefak berlebihan, namun ukuran fail membesar puluhan kali lipat. Oleh karena itu, kompresi HEVC diterapkan untuk mereduksi ukuran fail tanpa degradasi metrik VMAF yang parah. Kajian ini menciptakan alur kerja restorasi dan rekompresi yang aplikatif untuk kebutuhan industri televisi.

Kata Kunci: Arsip Penyiaran, Kecerdasan Buatan, Kompresi HEVC, Real-ESRGAN, Video Upscaling.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi layar dan perangkat penyiaran modern saat ini menuntut penyediaan konten visual dengan format resolusi tinggi (*High Definition* / HD hingga *Ultra High Definition* / UHD). Standar baru ini menimbulkan tantangan besar bagi stasiun televisi maupun lembaga penyiaran dalam mengelola aset digital mereka, khususnya dokumentasi atau arsip video lawas yang direkam dalam format resolusi standar (*Standard Definition* / SD). Arsip video penyiaran memiliki nilai historis dan informasi yang sangat penting, sehingga upaya penyelamatan informasi dokumen serta pelestarian arsip di era digital menjadi sebuah urgensi yang tidak dapat diabaikan (Sugiharto, 2021; Khaeruddin et al., 2023). Masalah utama muncul ketika video resolusi standar tersebut dipaksa tayang pada perangkat modern; gambar akan mengalami penurunan kualitas yang drastis. Pendekatan konvensional seperti interpolasi spasial linier (*Bicubic upscaling*) sering kali gagal karena hanya mereplikasi piksel berdasarkan perhitungan matematis sederhana, yang mengakibatkan visual tampak kabur, pecah, dan kehilangan detail tekstur halus (Sara et al., 2019).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pemanfaatan kecerdasan buatan berbasis *Deep Learning*, khususnya metode *Super-Resolution*, mulai diadopsi secara luas. Dalam domain ini, telah banyak dilakukan penelitian terdahulu yang mendasari pengembangan restorasi citra dan video. Wang et al. (2021), mengenalkan algoritma *state-of-the-art* bernama Real-ESRGAN yang menggunakan data sintesis murni untuk melatih jaringan dalam memulihkan degradasi visual di dunia nyata secara acak (*blind super-resolution*). Model ini terbukti sangat superior dalam merekonstruksi ketajaman tepi objek dan memunculkan kembali tekstur alami yang hilang pada gambar dunia nyata. Kemudian Abdelazim et al. (2021), mengeksplorasi integrasi fungsional antara teknik *super-resolution* secara *end-to-end* dengan standar pengodean video *High Efficiency Video Coding* (HEVC/H.265). Hasil kajian mereka menunjukkan bahwa peningkatan resolusi yang dikombinasikan dengan kompresi HEVC berkontribusi besar dalam menjaga efisiensi *bandwidth* transmisi tanpa mengorbankan keuntungan visual yang diperoleh dari proses rekonstruksi piksel cerdas. Sementara itu, Bonnineau et al. (2022), melakukan evaluasi mendalam mengenai penilaian kualitas perseptual (*perceptual quality assessment*) dari standar kompresi video modern (HEVC dan VVC) untuk format video resolusi sangat tinggi hingga mencapai 8K. Studi tersebut menegaskan bahwa kompresi HEVC mampu mereduksi ukuran data secara masif, dan kualitas visualnya tetap dapat diukur secara akurat menggunakan metrik perseptual objektif yang mendekati pengamatan visual manusia.

Meskipun efektivitas Real-ESRGAN dalam merestorasi detail video sangat menjanjikan, implementasinya secara mandiri menyisakan kendala serius, yaitu pembengkakan ukuran fail luaran (*lossless/uncompressed*) hingga puluhan kali lipat. Di sisi lain, kompresi video yang terlalu agresif berisiko merusak artefak halus yang telah dibangun oleh algoritma kecerdasan buatan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alur kerja terintegrasi yang menjembatani kedua teknologi ini.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk merumuskan suatu model integrasi yang presisi (*ekuilibrum*) antara peningkatan kualitas visual video arsip penyiaran resolusi standar menggunakan algoritma Real-ESRGAN dan efisiensi ruang penyimpanan peladen melalui kompresi tingkat lanjut menggunakan standar HEVC. Secara khusus, penelitian ini bertujuan menguji sejauh mana kompresi HEVC mampu mempertahankan detail tekstur hasil restorasi kecerdasan buatan berdasarkan evaluasi objektif metrik perseptual *Video Multimethod Assessment Fusion* (VMAF). Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis berupa standar operasional prosedur (SOP) restorasi arsip yang aplikatif bagi industri penyiaran digital.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan harus disertai dengan referensi; modifikasi yang relevan harus dijelaskan. Prosedur dan teknik analisis data harus ditekankan dalam artikel tinjauan pustaka. Tahapan dan analisis penelitian harus dijelaskan secara rinci.

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif berskala laboratorium yang dirancang untuk menguji keandalan sistem restorasi cerdas yang dikombinasikan dengan metode kompresi. Berdasarkan kerangka desain yang dikembangkan oleh Abdelazim et al. (2021), alur penelitian dibagi menjadi tiga fase utama: persiapan sampel, intervensi eksperimen (*upscaling* dan kompresi), dan analisis evaluasi kualitas objektif.

1. Pengumpulan dan Persiapan Data Data primer yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 10 sampel video beresolusi rendah (format *Standard Definition* / SD, 480p) yang dikurasi dari repositori arsip laboratorium penyiaran Politeknik Negeri Lhokseumawe. Karakteristik sampel yang dipilih mewakili berbagai kondisi tipikal arsip lawas, seperti keberadaan *noise* analog, keburaman tepi (*edge blurring*), dan hilangnya detail tekstur akibat kompresi lama. Seluruh sampel dikonversi ke dalam format *lossless* sebagai data kontrol untuk mencegah degradasi tambahan sebelum proses intervensi dimulai.

2. Prosedur Eksperimen dan Modifikasi Sistem Tahapan intervensi utama dilakukan melalui dua proses yang saling berkesinambungan:

- a. **Tahap *Upscaling* menggunakan Real-ESRGAN:** Pada tahap ini, resolusi setiap video SD ditingkatkan menjadi format *High Definition* (HD, 1080p). Algoritma dasar Real-ESRGAN yang dikembangkan oleh Wang et al. (2021) secara natural dirancang untuk citra statis. Oleh karena itu, *modifikasi prosedural yang diterapkan pada penelitian ini* adalah ekstraksi video menjadi *frame-by-frame* sekuensial (deret gambar) sebelum dimasukkan ke dalam model Real-ESRGAN. Model inferensi yang digunakan telah dilatih dengan data sintetis untuk merestorasi *noise* dunia nyata. Setelah seluruh *frame* direkonstruksi dan ditingkatkan resolusinya hingga empat kali lipat (*4x scale*), deret gambar tersebut digabungkan kembali (*muxing*) ke dalam satu berkas video utuh yang tidak terkompresi (*uncompressed*).
- b. **Tahap Rekompresi menggunakan HEVC (H.265):** Mengingat luaran dari tahap pertama menghasilkan ukuran fail yang membengkak drastis (hingga gigabita untuk durasi singkat), tahapan kedua difokuskan pada reduksi ukuran data. Proses pengodean ulang menggunakan arsitektur *High Efficiency Video Coding* (HEVC) (Pastuszak & Abramowski, 2016). Parameter kompresi dimodifikasi menggunakan pengaturan *Constant Rate Factor* (CRF) yang bervariasi (misalnya CRF 18, 23, dan 28) untuk menemukan tingkat kompresi optimal yang memberikan reduksi ukuran terbesar tanpa merusak struktur piksel hasil restorasi AI.

3. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data difokuskan pada pengukuran korelasi antara rasio kompresi (ukuran fail) dan tingkat kualitas perseptual visual usai restorasi. Analisis tidak menggunakan metode tradisional murni berbasis piksel seperti *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), karena metrik tersebut terbukti kurang representatif terhadap cara sistem visual manusia (HVS) menilai kualitas gambar (Sara et al., 2019). Sebagai gantinya, penelitian ini secara khusus menggunakan metrik objektif tingkat lanjut, yaitu *Video Multimethod Assessment Fusion* (VMAF) (Rassool, 2017).

VMAF merupakan metrik evaluasi kualitas video berbasis *machine learning* yang menghitung skor kualitas dari skala 0 (kualitas terburuk) hingga 100 (kualitas identik dengan aslinya). Metrik ini memfusiikan (menggabungkan) beberapa fitur kualitas gambar spasial dan temporal menggunakan model regresi *Support Vector Machine* (SVM) (Tong et al., 2020). Secara matematis, pemodelan konseptual VMAF diformulasikan dalam Persamaan 1 berikut:

$$VMAF = f_{SVM}(VIF_1 \ VIF_2 \ VIF_3 \ VIF_4 \ DLM \ TI)$$

Keterangan:

f_{SVM} mewakili fungsi regresi linear *Support Vector Machine* yang bobotnya telah dilatih secara empiris menggunakan *dataset* penilaian subjektif manusia.

$VIF_{\{1-4\}}$ mewakili *Visual Information Fidelity* pada empat skala resolusi spasial yang berbeda. Komponen ini berfungsi mengukur *fidelity* atau kesetiaan informasi gambar, yakni sejauh mana informasi dari video asli (hasil *upscaling* Real-ESRGAN) dapat dipertahankan (Zhou et al., 2025).

DLM mewakili *Detail Loss Metric*, yang secara khusus mengukur hilangnya detail berharga dan munculnya gangguan (artefak) yang diakibatkan oleh proses kompresi HEVC (Deng et al., 2020).

TI mewakili *Temporal Information*, yakni fitur yang menghitung perbedaan piksel antar *frame* yang berurutan untuk mengevaluasi kualitas pergerakan atau dinamika temporal dalam video (Bonnineau et al., 2022).

Analisis data dilakukan dengan membandingkan skor akhir VMAF dari setiap tingkatan

Constant Rate Factor (CRF) pada kompresi HEVC dengan ukuran fail akhirnya. Pendekatan analisis ini berupaya mencari *ekuilibrium* (titik persilangan optimal) dalam grafik fungsi objektif, di mana institusi penyiaran bisa mendapatkan kualitas visual *High Definition* yang sangat baik (Skor VMAF ≥ 90) dengan reduksi ukuran ruang penyimpanan yang signifikan (Tong et al., 2020). Pengolahan komputasi data hasil eksperimen disajikan dalam bentuk tabel komparatif dan divisualisasikan melalui grafik tren performa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengevaluasi kinerja algoritma Real-ESRGAN dalam merestorasi arsip video penyiaran dan menguji efektivitas kompresi HEVC untuk menyeimbangkan ukuran data. Pengujian dilakukan terhadap 10 sampel aset video beresolusi *Standard Definition* (SD) yang dikurasi dari laboratorium penyiaran vokasi sebagai data *baseline*.

1. Eksekusi Algoritma Real-ESRGAN dan Rekonstruksi Visual

Proses peningkatan resolusi (*upscaling*) dilakukan secara komparatif antara metode konvensional (interpolasi linier *Bicubic*) dan metode kecerdasan buatan berbasis *Deep Learning* (Real-ESRGAN). Secara visual kualitatif, algoritma Real-ESRGAN berhasil merekonstruksi detail objek secara natural, merestorasi tekstur yang hilang, serta mengeliminasi derau (*noise*) analog tanpa memunculkan artefak berlebih. Sebaliknya, metode *Bicubic* terbukti gagal karena hanya menghasilkan gambar yang memburam (*oversmoothed*) dan kehilangan ketajaman teksturnya.



Gambar 1. Cuplikan frame asli arsip penyiaran



Gambar 2. Cuplikan frame hasil rekonstruksi dan upscaling

2. Tabulasi Data Hasil Pengujian Restorasi dan Kompresi

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai performa komparatif antara metode konvensional (*Bicubic*) dan metode berbasis kecerdasan buatan (*Real-ESRGAN*), data

rata-rata dari 10 sampel uji diringkas ke dalam Tabel 1 berikut. Data ini mencakup rata-rata ukuran referensi mentah, ukuran setelah kompresi, persentase efisiensi, dan skor akhir metrik perseptual VMAF.

Tabel 1. Rangkuman Hasil Pengujian Komparatif Restorasi dan Kompresi Video

No	Metode Upscaling	Parameter HEVC (CRF)	Rata-Rata Ukuran Berkas (MB)	Rata-Rata Ukuran Referensi (MB)	Rata-Rata Reduksi Ukuran (%)	Rata-Rata Skor VMAF	Kategori Kualitas Perseptual
1	Bicubic	CRF 18	7,93	114,22	93,0%	45,62	<i>Bad / Poor</i>
2	Bicubic	CRF 23	3,40	114,22	97,0%	43,51	<i>Bad / Poor</i>
3	Bicubic	CRF 28	1,63	114,22	98,5%	40,24	<i>Bad</i>
4	Real-ESRGAN	CRF 18	7,11	296,52	97,6%	74,05	<i>Good</i>
5	Real-ESRGAN	CRF 23	3,69	296,52	98,7%	73,01	<i>Good</i>
6	Real-ESRGAN	CRF 28	1,88	296,52	99,4%	71,23	<i>Good / Fair</i>

3. Indikator Kapasitas dan Efisiensi Kompresi Data

Tingginya kualitas visual yang dihasilkan oleh Real-ESRGAN memunculkan konsekuensi pada pembengkakan data. Berdasarkan Tabel 1, luaran video mentah (*lossless output*) dari Real-ESRGAN memakan ruang hingga 296,52 MB. Ukuran ini jauh melampaui hasil luaran *Bicubic* yang hanya sebesar 114,22 MB. Pembengkakan ini diakibatkan oleh kemampuan mesin cerdas mensintesis puluhan ribu piksel baru secara padat untuk membentuk struktur objek yang jauh lebih kompleks.

Meskipun demikian, ketika luaran ini dikompresi menggunakan standar *High Efficiency Video Coding* (HEVC/H.265), terjadi efisiensi data yang masif. Kompresi HEVC pada sampel Real-ESRGAN mampu mereduksi ukuran fail berkisar antara 97,6% hingga 99,4%, menekan ukuran fail akhir menjadi sangat ringkas pada kisaran 1,88 MB hingga 7,11 MB.

4. Evaluasi Kualitas Visual Berdasarkan Metrik VMAF

Keberhasilan restorasi ini dibuktikan melalui pengukuran kualitas menggunakan *Video Multithreshold Assessment Fusion* (VMAF). Merujuk pada Tabel 1, seluruh luaran sampel dari metode *Bicubic* gagal memenuhi standar kelayakan industri penyiaran, di mana skor VMAF-nya hanya tertahan di kisaran nilai 40,24 hingga 45,62 (kategori *Bad* hingga *Poor*).

Di sisi lain, penerapan Real-ESRGAN secara konsisten mampu mendongkrak performa visual secara signifikan dengan capaian skor VMAF yang melonjak stabil pada angka 71,23 hingga 74,05 (kategori *Good*). Nilai ini membuktikan bahwa Real-ESRGAN tidak menghasilkan distorsi spasial melainkan murni memulihkan detail tekstur video yang hilang.

5. Penentuan Parameter Constant Rate Factor (CRF) Optimal

Dalam pengujian kodeks HEVC, penelitian ini memanipulasi parameter CRF pada nilai 18, 23, dan 28 untuk mencari *ekuilibrium* (keseimbangan) ideal:

- CRF 18:** Reduksi ukuran fail mencapai 97,6% (menjadi 7,11 MB) dengan skor VMAF rata-rata tertinggi pada angka 74,05.
- CRF 23:** Pemangkasan fail meningkat tajam (menjadi 3,69 MB atau susut 98,7%), sementara skor VMAF hanya sedikit menurun ke angka 73,01.
- CRF 28:** Tingkat reduksi maksimal hingga 99,4% (menjadi hanya 1,88 MB), namun degradasi skor VMAF lebih tajam menuju angka 71,23.

Berdasarkan analisis tersebut, parameter **CRF 23** direkomendasikan sebagai nilai paling optimal dalam manajemen peladen. CRF 23 terbukti memangkas ruang penyimpanan sekitar separuh dari hasil CRF 18 (dari 7,11 MB menjadi 3,69 MB), namun hanya mengorbankan penurunan sekitar 1 poin VMAF (74,05 ke 73,01)—suatu degradasi yang praktis tidak bisa dibedakan secara kasatmata oleh sistem visual manusia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa integrasi antara algoritma kecerdasan buatan Real-ESRGAN dan standar pengodean video *High Efficiency Video Coding* (HEVC/H.265) berhasil merumuskan titik keseimbangan (*ekuilibrium*) yang presisi antara peningkatan kualitas visual dan efisiensi ruang penyimpanan untuk restorasi arsip penyiaran. Penerapan Real-ESRGAN terbukti sangat superior dibandingkan metode konvensional (*Bicubic*), di mana pemanfaatan model *Deep Learning* ini mampu mendongkrak skor kualitas perseptual VMAF secara drastis dari kisaran kritis 40,24–45,62 (*Bad/Poor*) menjadi stabil di atas ambang batas kelayakan industri penyiaran pada kisaran 71,23–74,05 (*Good*). Meskipun peningkatan resolusi (*upscaling*) tersebut memicu pembengkakan ukuran data mentah referensi hingga rata-rata 296,52 MB (jauh lebih tinggi dari *Bicubic* sebesar 114,22 MB), intervensi kompresi HEVC mampu bertindak sebagai penyeimbang yang efektif melalui tingkat reduksi data yang masif antara 97,6% hingga 99,4%. Di antara parameter yang diuji, nilai **CRF 23** ditetapkan sebagai titik *ekuilibrium* paling optimal karena mampu memangkas ukuran berkas secara signifikan hingga menjadi rata-rata 3,69 MB (menghemat ruang penyimpanan hampir separuh dari hasil luaran CRF 18 yang sebesar 7,11 MB) dengan hanya mengorbankan penurunan kualitas visual yang sangat minor sebesar 1,04 poin VMAF dari nilai tertinggi (74,05 menjadi 73,01), di mana degradasi tersebut terbukti tidak dapat diindera secara kasatmata oleh sistem visual manusia.

REFERENSI

- Abdelazim, M., Hamza, A., Abdelazim, A., & Ait-Boudaoud, D. (2021). HEVC improved performance with end-to-end super resolution. Dalam *Digital Optical Technologies 2021* (hlm. 19). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2589651>
- Bonnineau, C., Hamidouche, W., Fournier, J., Sidaty, N., Travers, J.-F., & Deforges, O. (2022). Perceptual Quality Assessment of HEVC and VVC Standards for 8K Video. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 68(1), 246–253. <https://doi.org/10.1109/TBC.2022.3140710>
- Çetin, Ş. B. (2023). Real-ESRGAN: A deep learning approach for general image restoration and its application to aerial images. *Advanced Remote Sensing*.
- Deng, S., Han, J., & Xu, Y. (2020). VMAF Based Rate-Distortion Optimization for Video Coding. *2020 IEEE 22nd International Workshop on Multimedia Signal Processing (MMSP)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/MMSP48831.2020.9287114>
- Khaeruddin, K., Nur Afdalia, & Ulul Azmi Mustari. (2023). Pelestarian Arsip di Era Teknologi Digital. *Amarthapura: Historical Studies Journal*, 2(2). <https://doi.org/10.30872/amt.v2i2.1553>
- Li, R., & Zhou, W. (2024). Image Super-Resolution Reconstruction of Landslide Based on Real-ESRGAN. *2024 8th International Conference on Control Engineering and Artificial Intelligence*, 203–208. <https://doi.org/10.1145/3640824.3640856>
- Nandal, P., Pahal, S., Khanna, A., & Rogério Pinheiro, P. (2024). Super-Resolution of Medical Images Using Real ESRGAN. *IEEE Access*, 12, 176155–176170. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3497002>
- Pastuszak, G., & Abramowski, A. (2016). Algorithm and Architecture Design of the H.265/HEVC Intra Encoder. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 26(1), 210–222. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2015.2428571>
- Rassool, R. (2017). VMAF reproducibility: Validating a perceptual practical video quality metric. *2017 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, 1–2. <https://doi.org/10.1109/BMSB.2017.7986143>
- Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study. *Journal of Computer and Communications*, 07(03), 8–18. <https://doi.org/10.4236/jcc.2019.73002>
- Sarmad, M., Ruspini, L., & Lindseth, F. (2022). Photo-Realistic Continuous Image Super-Resolution with Implicit Neural Networks and Generative Adversarial Networks. *Proceedings of the Northern Lights Deep Learning Workshop*, 3. <https://doi.org/10.7557/18.6285>
- Sugiharto, D. (2021). Penyelamatan Informasi Dokumen/Arsip di Era Teknologi Digital. *BACA: Jurnal Dokumentasi dan Informasi*, 42(1), 15–28.
- Sullcany, C., & Gabriel, J. (2024). Implementación del Modelo Real-ESRGAN para Imágenes Satelitales. <https://ddd.uab.cat/record/298977>

- Tavakoli, M., Eftekhari, A., SaadatSeresht, M., & Jamshidpour, N. (2026). Enhancing Urban UAV Photogrammetric Products Through Domain-Specific Training of the Real-ESRGAN Super-Resolution Model. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-4/W8-2025, 785–792. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W8-2025-785-2026>
- Tong, X., Zhu, C., Xie, R., Xiong, J., & Song, L. (2020). A VMAF Directed Perceptual Rate Distortion Optimization for Video Coding. *2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/BMSB49480.2020.9379915>
- Wang, X., Xie, L., Dong, C., & Shan, Y. (2021). Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data. *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops*, 1905–1914. <https://doi.org/10.1109/ICCVW54120.2021.00217>
- Wang, X., Yu, K., Wu, S., Gu, J., Liu, Y., Dong, C., ... Loy, C. C. (2019). ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks. Dalam *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops* (Vol. 11133, hlm. 63–79). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11021-5_5
- Zhou, W., Amirpour, H., Timmerer, C., Zhai, G., Callet, P. L., & Bovik, A. C. (2025). Perceptual Visual Quality Assessment: Principles, Methods, and Future Directions. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.00625>
- Zhu, Z., Lei, Y., Qin, Y., Zhu, C., & Zhu, Y. (2023). IRE: Improved Image Super-Resolution Based on Real-ESRGAN. *IEEE Access*, 11, 45334–45348. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3256086>