

**ACA-ESRGAN: METODE SUPER-RESOLUSI UNTUK TRANSMISI
GAMBAR EFISIEN PADA KENDARAAN OTONOM**



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi Sebagian dari persyaratan dalam memperoleh
gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Sistem Telekomunikasi

Oleh:

Muhammad Wildan Syaifullah

2102507

**PROGRAM STUDI SISTEM TELEKOMUNIKASI
KAMPUS UPI DI PURWAKARTA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

LEMBAR HAK CIPTA

ACA-ESRGAN: METODE SUPER-RESOLUSI UNTUK TRANSMISI GAMBAR EFISIEN PADA KENDARAAN OTONOM

Oleh
Muhammad Wildan Syaifullah

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi Sistem Telekomunikasi

© **Muhammad Wildan Syaifullah**
Universitas Pendidikan Indonesia
2025

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak
ulang, difotokopi atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul:

**ACA-ESRGAN: METODE SUPER-RESOLUSI UNTUK TRANSMISI
GAMBAR EFISIEN PADA KENDARAAN OTONOM**

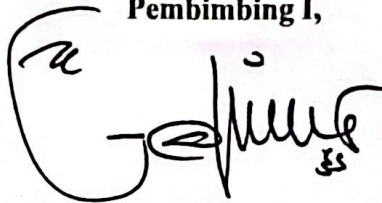
Oleh

Muhammad Wildan Syaifullah

2102507

Disetujui dan Disahkan Oleh Pembimbing:

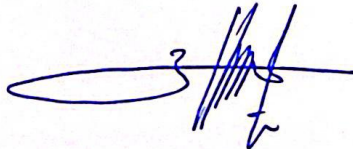
Pembimbing I,



Galura Muhammad Suranegara, S.Pd., M.T.

NIP. 920190219920111101

Pembimbing II

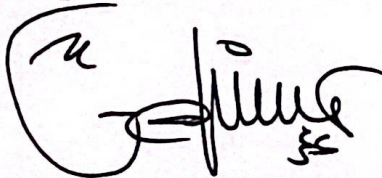


Endah Setyowati, S.T., M.T.

NIP. 920190219920908201

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sistem Telekomunikasi



Galura Muhammad Suranegara, S.Pd., M.T.

NIP. 920190219920111101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Wildan Syaifullah
NIM : 2102507
Program Studi : Sistem Telekomunikasi
Judul Karya : ACA-ESRGAN: METODE SUPER-RESOLUSI
UNTUK TRANSMISI GAMBAR EFISIEN PADA
KENDARAAN OTONOM

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Purwakarta, 17 Juni 2025

Muhammad Wildan Syaifullah

NIM. 2102507

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat, karunia dan ridho-Nya peneliti akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan bisa selesai tanpa adanya doa, dukungan serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- 1) Bapak Arief Suryadi Satyawan, M.T., D.Eng., selaku pembimbing lapangan, atas segala bimbingan, arahan, dan ilmu yang diberikan selama magang riset MBKM BRIN dan penyusunan tugas akhir ini.
- 2) Bapak Galura Muhammad Suranegara, S.Pd., M.T., selaku Kepala Program Studi Sistem Telekomunikasi dan Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang sangat berarti selama penyusunan skripsi ini.
- 3) Bapak Endah Setyowati, S.T., M.T., selaku wali dosen dan Dosen Pembimbing II, atas bimbingan, dukungan, dan kesabaran yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
- 4) Mamski dan Papski yang telah memberikan doa, dukungan, dan kepercayaan penuh, serta menjadi alasan utama penulis mampu melalui berbagai tantangan.
- 5) Para dosen dan staf Program Studi Sistem Telekomunikasi yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta dukungan selama penulis menjalani perkuliahan.
- 6) Untuk Bubib, yang selalu hadir dengan dukungan, kesabaran, dan semangat di setiap langkah proses ini.
- 7) Untuk Chiperion Corp., sebuah gagasan yang semoga dapat terwujud di masa depan sebagai wujud nyata dari ide dan kerja keras yang terus berkembang.
- 8) Untuk Sthira 21, terima kasih atas perjalanan, perjuangan, dan solidaritas yang tak tergantikan selama masa studi ini.
- 9) Untuk Whiskey, kucing setia yang selalu menemani di setiap proses.
- 10) Untuk Leon dan Mahen, dua penghuni kecil rumah yang selalu berhasil mencuri perhatian dan jadi hiburan di tengah penatnya skripsi.

Segala bentuk bantuan dan dukungan yang telah diberikan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam proses penyusunan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan, baik dalam aspek penelitian maupun penulisannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan di masa mendatang.

Purwakarta, 17 Juni 2025

Muhammad Wildan Syaifullah

ABSTRAK

Integrasi Kendaraan Listrik Otonom (AEVs) dalam lingkungan terbatas memerlukan solusi komunikasi yang efisien dan hemat energi, terutama untuk mentransmisikan data berdimensi tinggi yang penting bagi navigasi dan pemantauan secara *real-time*. Teknologi komunikasi LoRa (Long Range), yang dikenal dengan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah, menjadi opsi yang layak namun memiliki keterbatasan *bandwidth* rendah, yang membatasi transmisi data, terutama untuk data gambar. Penelitian ini memperkenalkan pendekatan inovatif yang menggabungkan komunikasi LoRa dengan teknik super-resolusi berbasis Generative Adversarial Network (GAN) untuk transmisi gambar yang efektif pada AEV. Gambar beresolusi rendah ditransmisikan melalui LoRa untuk menghemat *bandwidth*, dan kemudian di-upscale menjadi resolusi tinggi menggunakan Super-Resolution GAN (SRGAN) di jaringan pusat. Studi ini meningkatkan arsitektur SRGAN dengan menerapkan model Enhanced Super-Resolution GAN (ESRGAN), yang mencakup Residual-in-Residual Dense Block (RRDB) yang disesuaikan untuk skenario operasional AEV. Selain itu, modifikasi struktural seperti lapisan konvolusi yang dioptimalkan, pendekatan pelatihan progresif, dan mekanisme Adaptive Convolutional Attention (ACA) yang mengintegrasikan Channel Attention, Spatial Attention, dan Squeeze-and-Excitation (SE) blocks meningkatkan efisiensi model dalam rekonstruksi gambar. Hasil eksperimen menunjukkan efektivitas pendekatan ini dalam mengatasi keterbatasan *bandwidth* LoRa, mendukung transmisi gambar berkualitas tinggi untuk aplikasi AEV di lingkungan dengan ruang terbatas. Penelitian ini menjadi dasar bagi pengembangan sistem komunikasi hemat *bandwidth* dan efisiensi tinggi di masa depan dalam kendaraan otonom.

Kata Kunci: Kendaraan Listrik Otonom, Komunikasi LoRa, Jaringan Adversarial Generatif, *Super-Resolution* GAN, Transmisi Gambar

ABSTRACT

The integration of autonomous electric vehicles (AEVs) into constrained environments requires efficient, low-energy communication solutions, particularly for transmitting high-dimensional data essential to real-time navigation and monitoring. LoRa (Long Range) communication technology, known for its extended range and low power consumption, presents a viable option but is limited by its low bandwidth, which constrains data transmission, especially for image data. This research introduces a innovative approach combining LoRa communication with a Generative Adversarial Network (GAN)-based super-resolution technique for effective image transmission in AEVs. Low-resolution images are transmitted over LoRa to conserve bandwidth, and subsequently upscaled to high resolutions using a Super-Resolution GAN (SRGAN) at the central network. Our study enhances the SRGAN architecture by implementing the Enhanced Super-Resolution GAN (ESRGAN) model, which includes a Residual-in-Residual Dense Block (RRDB) tailored for AEV operational scenarios. Additionally, structural modifications, such as optimized convolution layers, a progressive training approach, and an Adaptive Convolutional Attention (ACA) mechanism integrating Channel Attention, Spatial Attention, and Squeeze-and-Excitation (SE) blocks, improve model efficiency in image reconstruction. Experimental results demonstrate the effectiveness of this approach in overcoming LoRa's bandwidth constraints, supporting high-quality image transmission for AEV applications in limited-space environments. This research lays the groundwork for future advancements in low-bandwidth, high-efficiency communication systems within autonomous vehicles.

Keywords: *Autonomous Electric Vehicles, LoRa Communication, Generative Adversarial Networks, Super-Resolution GAN, Image Transmission.*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kendaraan Listrik Otonom	5
2.2 <i>Low Power Wide Area Network</i> (LPWAN)	6
2.2.1 LoRa	6
2.3 <i>Super-Resolution Generative Adversarial Network</i> (SRGAN)	7
2.4 <i>Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network</i> (ESRGAN)	8
2.4.1 Pendekatan Arsitektur ESRGAN	8
2.4.2 <i>Loss Function</i>	10
2.5 Attention Block	12
2.5.1 Channel Attention	12
2.5.2 Spatial Attention	12
2.5.3 Squeeze-and-Excitation Block	13
2.6 Metrik Evaluasi	13
2.6.1 Peak Signal Noise to Ratio (PSNR)	14
2.6.2 Structural Similarity Index Measure (SSIM)	14

2.7	Penelitian Relevan.....	16
BAB III METODE PENELITIAN.....		18
3.1	Jenis Penelitian.....	18
3.2	Lingkungan Komputasi.....	18
3.3	Tahapan Penelitian.....	18
3.3.1	Konfigurasi Penginputan Data	19
3.3.2	Studi Literatur	19
3.3.3	Konfigurasi Filter Frekuensi	20
3.3.4	Praproses Data.....	20
3.3.5	Base Model ESRGAN	21
3.3.6	Metode Pengujian.....	22
3.3.7	Analisis Komparatif Hasil Pengujian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Model ACA-ESRGAN	25
4.1.1	Rancangan Model ACA-ESRGAN.....	25
4.1.2	Modifikasi Model ACA-ESRGAN	28
4.2	Hasil Penelitian	30
4.2.1	Hasil Training.....	31
4.2.2	Hasil Testing	34
4.3	Pembahasan.....	35
4.3.1	Analisis <i>Generator Loss</i> dan <i>Discriminator Loss</i>	35
4.3.2	Pengaruh Penggunaan <i>Adaptive Convolutional Attention</i>	36
4.3.3	Pengaruh Penggunaan <i>Fine Tuned</i>	37
4.3.4	Pengaruh Penggunaan Jenis <i>Perceptual Loss Function</i>	39
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		40
DAFTAR PUSTAKA		42
LAMPIRAN		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbandingan Residual Block	9
Gambar 2. 2 Perbandingan Discriminator.....	10
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	19
Gambar 4. 1 Ilustrasi Arsitektur ACA-ESRGAN	26
Gambar 4. 2 Arsitektur Adaptive Convolution Attention.....	27
Gambar 4. 3 Nilai Generator <i>Loss</i>	34
Gambar 4. 4 Nilai Discriminator <i>Loss</i>	34

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Arsitektur Base Model	21
Tabel 4. 1 Base Model ESRGAN	28
Tabel 4. 2 Hasil Training ACA-ESRGAN.....	31
Tabel 4. 3 Rata-Rata PSNR dan SSIM	35

DAFTAR PUSTAKA

- Abid, H., Kissaoui, M., Raihani, A., & Zaggaf, M. H. (2025). Energy management in autonomous hybrid electric vehicles: A review. *E3S Web of Conferences*, 601. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560100083>
- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>
- Ajao, Q., & Sadeeq, L. (2024). *Modeling and Simulation of a Fully Autonomous Electric Vehicle (AEV)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5106256/v1>
- Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors (Switzerland)*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/s16091466>
- Chilamkurthy, N. S., Pandey, O. J., Ghosh, A., Cenkeramaddi, L. R., & Dai, H. N. (2022). Low-Power Wide-Area Networks: A Broad Overview of Its Different Aspects. *IEEE Access*, 10, 81926–81959. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3196182>
- Hu, J., Shen, L., Albanie, S., Sun, G., & Wu, E. (2017). *Squeeze-and-Excitation Networks*. <http://arxiv.org/abs/1709.01507>
- Huang, X., Ai, Z., Wang, H., She, C., Feng, J., Wei, Q., Hao, B., Tao, Y., Lu, Y., & Zeng, F. (2023). GABNet: global attention block for retinal OCT disease classification. *Frontiers in Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2023.1143422/PDF>
- Ledig, C., Theis, L., Huszar, F., Caballero, J., Cunningham, A., Acosta, A., Aitken, A., Tejani, A., Totz, J., Wang, Z., & Shi, W. (2016). *Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network*. <http://arxiv.org/abs/1609.04802>
- Liu, J., & Chandrasiri, N. (2024). CA-ESRGAN: super-resolution image synthesis using Channel Attention-based ESRGAN. *IEEE Access*, PP, 1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3363172>

- Metlek, S., & Çetiner, H. (2023). ResUNet+: A New Convolutional and Attention Block-Based Approach for Brain Tumor Segmentation. *IEEE Access*, *PP*, 1. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3294179>
- Nagano, Y., & Kikuta, Y. (2018). SRGAN for super-resolving low-resolution food images. *Proceedings of the Joint Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities and Multimedia Assisted Dietary Management*, 33–37. <https://doi.org/10.1145/3230519.3230587>
- Pratama, D. A. S. (2024). Pengembangan Kontrol Adaptif untuk Kendaraan Otonom dengan Studi Kasus pada Mobil Elektrik Berbasis Deep Reinforcement Learning. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis (SENATIB)*, 234–239.
- Rundo, L., Han, C., Nagano, Y., Zhang, J., Hataya, R., Militello, C., Tangherloni, A., Nobile, M. S., Ferretti, C., Besozzi, D., Gilardi, M. C., Vitabile, S., Mauri, G., Nakayama, H., & Cazzaniga, P. (2019). USE-Net: Incorporating Squeeze-and-Excitation blocks into U-Net for prostate zonal segmentation of multi-institutional MRI datasets. *Neurocomputing*, 365, 31–43. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.07.006>
- Sajati, H. (2018). The Effect of Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) Values on Object Detection Accuracy in Viola Jones Method. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 4. <https://doi.org/10.28989/senatik.v4i0.139>
- Wang, Q., Wu, B., Zhu, P., Li, P., Zuo, W., & Hu, Q. (2020). ECA-Net: Efficient Channel Attention for Deep Convolutional Neural Networks. Dalam *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (hlm. 11534–11542).
- Wang, X., Xie, L., Dong, C., & Shan, Y. (2021). *Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data*. <http://arxiv.org/abs/2107.10833>
- Wang, X., Yu, K., Wu, S., Gu, J., Liu, Y., Dong, C., Loy, C. C., Qiao, Y., & Tang, X. (2018). *ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks*. <http://arxiv.org/abs/1809.00219>
- Wu, J., Liao, H., Wang, J. W., & Chen, T. (2019). The role of environmental concern in the public acceptance of autonomous electric vehicles: A survey

- from China. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 37–46. <https://doi.org/10.1016/J.TRF.2018.09.029>
- Xiong, Y., Guo, S., Chen, J., Deng, X., Sun, L., Zheng, X., & Xu, W. (2020). Improved SRGAN for Remote Sensing Image Super-Resolution Across Locations and Sensors. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/rs12081263>
- Zadorozhnyy, V., Cheng, Q., & Ye, Q. (2020). Adaptive Weighted Discriminator for Training Generative Adversarial Networks. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4779–4788. <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00475>
- Zhu, X., Cheng, D., Zhang, Z., Lin, S., & Dai, J. (2019). An Empirical Study of Spatial Attention Mechanisms in Deep Networks. Dalam *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)* (hlm. 6688–6697).