



SKRIPSI

**PENINGKATAN KUALITAS GAMBAR
MENGUNAKAN ARSITEKTUR U-NET DENGAN MEKANISME
DEEP SUPERVISION PADA GAMBAR DENGAN TINGKAT
PENCAHAYAAN RENDAH.**

RIKO OKANANTA
NPM 21083010053

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. I Gede Susrama Masdiyasa, S.T. M.T., IPU
Amri Muhaimin, S.Stat., M.Stat., M.S.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SAINS DATA SURABAYA
2026**

LEMBAR PENGESAH

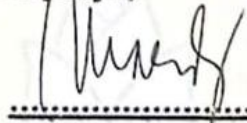
PENINGKATAN KUALITAS GAMBAR MENGGUNAKAN ARSITEKTUR U-NET DENGAN MEKANISME DEEP SUPERVISION PADA GAMBAR DENGAN TINGKAT PENCAHAYAAN RENDAH

Oleh:
RIKO OKANANTA
NPM. 21083010053

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Sidang Skripsi Program Studi
Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur
Pada tanggal 4 Mei 2026:

Menyetujui,

Dr. Ir. I Gede Susrama
Masdiyasa, S.T., M.T., IPU.
NIP 19700619 2021211 009



(Pembimbing I)

Amri Muhaimim, S.Stat.,
M.Stat., M.S.
NIP 19950723 202406 1 002



(Pembimbing II)

Wahyu Syaifullah Jauharis
Saputra, S.Kom., M.Kom
NIP 198608252021211003



(Ketua Penguji)

Aviolla Terza Damaliana,
S.Si., M.Stat.
NIP 199408022022032005



(Penguji I)

Mengetahui,


Dekan Fakultas Ilmu Komputer

Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT.

NIP. 19681126 199403 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

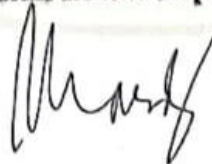
**PENINGKATAN KUALITAS GAMBAR MENGGUNAKAN
ARSITEKTUR U-NET DENGAN MEKANISME DEEP SUPERVISION
PADA GAMBAR DENGAN TINGKAT PENCAHAYAAN RENDAH**

Oleh:
RIKO OKANANTA
NPM. 21083010053

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Skripsi

Menyetujui,

**Koordinator Program Studi Sains Data
Fakultas Ilmu Komputer**



Dr. I Gede Susrama Masdiyasa, ST., MT.
NIP 19700619 2021211 009

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Riko Okananta
NPM : 21083010053
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Sains Data
Fakultas : Fakultas Ilmu Komputer

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila di kemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Surabaya, 4 Mei 2026
Yang Membuat Pernyataan,

RIKO OKANANTA
NPM. 21083010053

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Riko Okananta / 21083010053

Judul Skripsi : Peningkatan Kualitas Gambar Menggunakan
Arsitektur U-Net Dengan Mekanisme *Deep Supervision* Pada Gambar Dengan Tingkat
Pencahayaannya Rendah

Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. I Gede Susrama Masdiyasa, S.T., M.T., IPU
2. Amri Muhaimin, S.Stat., M.Stat., M.S.

Penelitian *low-light image enhancement* semakin relevan dengan meningkatnya secara eksponensial publikasi ilmiah terkait, kompetisi internasional seperti NTIRE yang pertama kali diadakan tahun 2017 hingga saat ini, dan pengembangan *benchmark* dataset khusus seperti LOL (*Low Light Dataset*). Sementara di Indonesia sendiri, kasus tindak pidana kejahatan dengan frekuensi tertinggi adalah kasus pencurian berat dan pencurian biasa, dan ternyata kasus tersebut terjadi mayoritas pada waktu tengah malam hingga subuh yang dimana keadaan pencahayaan cukup rendah sehingga berakibat terbatasnya pemanfaatan kamera pengawasan biasa untuk mengidentifikasi barang bukti digital, dalam kasus ini *low-light image enhancement* dapat menjadi solusi. Namun, solusi dengan pendekatan metode tradisional seperti *Histogram Equalization* kurang optimal, dan model *deep learning* saat ini sering tidak stabil dan terlalu besar ukurannya. Penelitian ini mengusulkan arsitektur U-Net yang fleksibel dengan jalur kontraksi (*encoder*) dan ekspansi (*decoder*) untuk ekstraksi dan rekonstruksi gambar untuk mengatasi permasalahan *low-light image enhancement* secara efisien. Untuk mengurangi kehilangan informasi akibat proses *downsampling*, diterapkan *multilevel input* dengan *pooling combination* pada setiap blok *encoder* sehingga lebih banyak fitur dapat dipertahankan. *Contextual Attention Module* ditambahkan untuk meningkatkan pemodelan konteks spasial dan *channel* secara global pada *feature maps* hasil fusi *skip connection* dan jalur *decoder*. Selain itu, digunakan *Residual Dense Block Network (RDB-Net)* yang mengintegrasikan komponen multiskala, *residual connection*, dan *dense connection* guna memperkuat ekstraksi fitur. *Deep supervision* diterapkan melalui modifikasi *multilevel fusion output* untuk memandu proses rekonstruksi secara lebih efektif. Fungsi *loss* dimodifikasi dengan mengombinasikan *Mean Absolute Error (MAE)* untuk akurasi intensitas piksel, *color loss* untuk distribusi warna antar-channel, serta *contrast* dan *structural loss* untuk meningkatkan ketajaman dan preservasi struktur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model U-Net yang diusulkan mampu mengungguli beberapa model lain yang menjadi *baseline* dalam hal menyeimbangkan antara stabilitas dan konvergensi, serta kualitas gambar dengan mencapai skor evaluasi paling optimal, yaitu SSIM = 0.898, skor PSNR = 24.05 dan skor LPIPS = 0.135 pada pengujian LOL-V1 Benchmark.

Kata kunci : *Low-light Image Enhancement, Deep Supervision, Contextual Attention Module, Multilevel Input, Residual Dense Block Networks, Custom Loss Function*

ABSTRACT

Student Name / NPM : Riko Okananta / 21083010053
Thesis Title : *Enhancing Image Quality Using U-Net Architecture with Deep Supervision Mechanism on Low-Light Images.*
Advisor : 1. Dr. Ir. I Gede Susrama Masdiyasa, S.T., M.T., IPU
2. Amri Muhaimim, S.Stat., M.Stat., M.S.

Research on low-light image enhancement has become increasingly relevant, as evidenced by the exponential growth of related scientific publications, the emergence of international competitions such as NTIRE since its inception in 2017, and the development of dedicated benchmark datasets such as LOL (Low-Light Dataset). In Indonesia, crimes with the highest frequency include aggravated theft and ordinary theft, which predominantly occur from midnight to early morning when illumination conditions are poor. This limitation reduces the effectiveness of conventional surveillance cameras in identifying digital evidence, making low-light image enhancement a potential solution. However, traditional approaches such as Histogram Equalization remain suboptimal, while existing deep learning models often suffer from instability and excessive model complexity. This study proposes a flexible U-Net-based architecture with contraction (encoder) and expansion (decoder) paths for efficient feature extraction and image reconstruction in low-light image enhancement tasks. To mitigate information loss caused by downsampling, a multilevel input strategy with pooling combinations is applied at each encoder block to preserve richer feature representations. A Contextual Attention Module is incorporated to enhance global spatial and channel-wise contextual modeling on the fused feature maps from skip connections and the decoder path. Furthermore, a Residual Dense Block Network (RDB-Net), which integrates multiscale components, residual connections, and dense connections, is employed to strengthen feature extraction. Deep supervision is implemented through a modified multilevel fusion output to guide the reconstruction process more effectively. The loss function is further refined by combining Mean Absolute Error (MAE) for pixel intensity accuracy, color loss for inter-channel color distribution consistency, and contrast and structural losses to improve sharpness and structural preservation. Experimental results demonstrate that the proposed U-Net model outperforms several baseline methods in terms of balancing stability, convergence, and image quality, achieving optimal evaluation scores of SSIM = 0.898, PSNR = 24.05, and LPIPS = 0.135 on the LOL Benchmark Dataset.

Keyword : *Low-light Image Enhancement, Deep Supervision, Contextual Attention Module, Multilevel Input, Residual Dense Block Networks, Custom Loss Function*

KATAPENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Peningkatan Kualitas Gambar Menggunakan Arsitektur U-Net Dengan Mekanisme Deep Supervision Pada Gambar Dengan Tingkat Pencahayaan Rendah”** dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST., MT., IPU dan Bapak Amri Muhaimin, S.Stat., M.Stat., M.S selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat serta motivasi kepada penulis. Dan penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak, baik itu berupa moril, spiritual maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Bapak Dr. Ir. I Gede Susrama Masdiyasa, ST., MT., IPU. selaku Kepala Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Bapak Trimono, S.Si., M.Si selaku koordinator Tugas Akhir Skripsi Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
4. Seluruh Bapak/Ibu dosen pengajar di Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
5. Seluruh pihak yang membantu menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini dari awal

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhirnya, dengan segala keterbatasan yang penulis miliki semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Mei 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	..ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	..iv
ABSTRAK.....	.v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR.....	..vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	..xii
DAFTAR LAMPIRAN	..xiii
DAFTAR NOTASI	...xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Penelitian	7
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Penelitian Terdahulu	9
2.2. Kerangka Teori.....	19
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	49
5.1. Variabel Penelitian dan Sumber Data	49
5.2. Langkah Analisis.....	58
5.3. Desain Sistem	84
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	89
4.1. Hasil Penelitian.....	89
4.2. Tampilan Antar Muka (<i>Graphical User Interface</i>)	129
BAB V. PENUTUP	133

5.1. Kesimpulan.....	133
5.2. Saran Pengembangan.....	134
DAFTAR PUSTAKA.....	135
LAMPIRAN.....	141

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi gambar <i>Low-light</i>	19
Gambar 2.2. Arsitektur <i>Deep Learning</i>	24
Gambar 2.3. Ilustrasi Operasi Konvolusi 2D.....	25
Gambar 2.4. Operasi <i>Convolutional Transpose</i>	28
Gambar 2.5. Operasi <i>pooling</i>	29
Gambar 2.6. Arsitektur U-Net.....	32
Gambar 2.7. Mekanisme <i>Deep Supervision</i> pada jaringan U-Net.....	35
Gambar 2.8. Arsitektur VGG-16	41
Gambar 3.1. Diagram Alur Pengambilan Data Primer.....	53
Gambar 3.2. <i>Low-light Image Simulation Pipeline</i>	54
Gambar 3.3. Sampel Pasangan Dataset Primer.....	56
Gambar 3.4. Tampilan dataset LOL di <i>platform</i> Kaggle Dataset.....	57
Gambar 3.5. <i>Dashboard activity</i> dataset LOL di Kaggle Dataset	68
Gambar 3.6. Diagram Alur Penelitian.....	60
Gambar 3.7. Menambahkan LOL Dataset ke <i>notebook</i> kerja.....	62
Gambar 3.8. Tahapan Prapemrosesan Data.....	63
Gambar 3.9. Arsitektur keseluruhan LL-DSV-UNet	65
Gambar 3.10. Arsitektur RDN dan RDB-Net	66
Gambar 3.11. Struktur <i>Contextual Attention Module</i> (CAM)	69
Gambar 3.12. Struktur <i>Multilevel Input</i>	72
Gambar 3.13. <i>Deep Supervision</i> dengan <i>Multilevel Fusion</i> (MFDS)	74
Gambar 3.14. Desain Sistem Web GUI LL-DSV-UNet.....	86
Gambar 4.1. Tampilan struktur direktori dataset penelitian pada <i>workspace</i> ...	90
Gambar 4.2. <i>Output</i> gambar setiap langkah LLISP	91
Gambar 4.3. Hasil pasangan gambar <i>low-light</i> dan <i>normal-light</i>	95
Gambar 4.4. Bentuk <i>tensor</i> dataset setelah dilakukan <i>preprocessing</i>	96

Gambar 4.5. Distribusi intensitas piksel akumulatif setelah <i>preprocessing</i>	97
Gambar 4.6. Ukuran FLOPs progressif RDB-Net seiring level	100
Gambar 4.7. Proporsi FLOPs per- <i>layer</i> RDB-Net setiap level.....	101
Gambar 4.8. Pertumbuhan aproksimasi parameter RDB-Net seiring level....	102
Gambar 4.9. Proporsi parameter RDB-Net per- <i>layer</i> setiap level	103
Gambar 4.10. Hasil Pengukuran kompleksitas CAM setiap level.....	105
Gambar 4.11. Hasil Pengukuran kompleksitas MLI setiap level	107
Gambar 4.12. Proporsi FLOPs MLI per- <i>layer</i> setiap level.....	108
Gambar 4.13. Perhitungan detail FLOPs MFDS dari L4 ke L1	109
Gambar 4.14. Detail pengukuran parameter MFDS	110
Gambar 4.15. Grafik <i>training loss</i> vs <i>validation loss</i> LL-DSV-UNet.....	112
Gambar 4.16. Gambar hasil prediksi model <i>deep learning</i> sampel 1	115
Gambar 4.17. Gambar hasil prediksi model <i>deep learning</i> sampel 2.....	117
Gambar 4.18. <i>Google Form</i> survei penilaian kualitas gambar	125
Gambar 4.19. Hasil survei penilaian kualitas gambar.	126
Gambar 4.20. Hasil gambar visual dari studi ablasi MFDS	129
Gambar 4.21. Tampilan GUI untuk inferensi model LL-DSV-UNet	131

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian terdahulu.....	9
Tabel 2.2. Alur <i>feedforward</i> U-Net secara matematis	32
Tabel 2.3. Alur operasi <i>Deep Supervision</i> pada jaringan U-Net.....	36
Tabel 3.1. Konfigurasi <i>hyperparameter</i> pelatihan model	76
Tabel 3.2. Spesifikasi perangkat pengembangan model	77
Tabel 3.3. Skema pengujian performa LL-DSV-UNet.....	80
Tabel 4.1. Ukuran parameter, memori, dan FLOPs LL-DSV-UNet	99
Tabel 4.2. Hasil perhitungan <i>metrics</i> evaluasi tahap pelatihan.....	118
Tabel 4.3. Hasil perhitungan skor <i>metric</i> PSNR (dB) pada data <i>testing</i>	120
Tabel 4.4. Hasil perhitungan skor <i>metric</i> SSIM (0 – 1) pada data <i>testing</i>	122
Tabel 4.5. Hasil perhitungan skor <i>metric</i> LPIPS pada data <i>testing</i>	123
Tabel 4.8. Hasil skor evaluasi studi ablasi.....	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Git-Hub Repository Overview</i>	141
Lampiran 2. <i>Source Code Low-light Image Simulation Pipeline</i>	142
Lampiran 3. <i>Source Code LL-DSV-UNet Full Architecture</i>	143
Lampiran 4. <i>Source Code Residual Dense Block Networks</i>	145
Lampiran 5. <i>Source Code Contextual Attention Module</i>	146
Lampiran 6. <i>Source Code Custom Loss Function</i>	146
Lampiran 7. <i>Source Code Metrics Evaluation</i>	148
Lampiran 8. <i>Source Code Back-end dengan Flask API</i>	150
Lampiran 9. <i>Source Code Front-end dengan HTML dan CSS</i>	157

DAFTAR NOTASI

$I(x, y, c)$	:	Gambar <i>Input</i>
$\hat{I}(x, y, c)$	:	Gambar <i>Output</i>
p	:	Ukuran <i>Padding</i> Operasi Konvolusi
s	:	Ukuran <i>Stride</i> Operasi Konvolusi
$\odot$	:	Operasi <i>Element Wise Multiplication</i>
$l(x, y)$	:	Diferensiasi Pencahayaan gambar prediksi dan target
$c(x, y)$	:	Diferensiasi Kontras gambar prediksi dan target
$s(x, y)$	:	Diferensiasi Struktur gambar prediksi dan target
H	:	Ukuran tinggi gambar
W	:	Ukuran lebar gambar
μ	:	<i>Mean</i> (Rata – rata) sebuah distribusi
σ	:	Standard Deviasi sebuah distribusi
$N(\mu, \sigma, c)$	:	<i>Gaussian Noise filter</i> pada <i>channel c</i>
δ	:	<i>Brightness Reduction Factor</i>
N	:	Jumlah total piksel gambar
T	:	Jumlah <i>Epoch</i> (Periode pelatihan model)
L_t	:	Nilai <i>loss</i> pelatihan model pada <i>epoch</i> ke- t
M_t	:	<i>Moving Average</i> dari nilai <i>loss</i> ke- t