



SKRIPSI

AUGMENTASI DATA CITRA MIKROSKOPIS SPERMATOOA MANUSIA MENGGUNAKAN WASSERSTEIN GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK-GRADIENT PENALTY (WGAN-GP)

HAJJAR AYU CAHYANI KUSWARDHANI
NPM 21083010044

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU
Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SAINS DATA
SURABAYA
2025**



SKRIPSI

AUGMENTASI DATA CITRA MIKROSKOPIS SPERMATOZOA MANUSIA MENGGUNAKAN WASSERSTEIN GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK-GRADIENT PENALTY (WGAN-GP)

HAJJAR AYU CAHYANI KUSWARDHANI
NPM 21083010044

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU
Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SAINS DATA
SURABAYA
2025**



SKRIPSI

AUGMENTASI DATA CITRA MIKROSKOPIS SPERMATOZOA MANUSIA MENGGUNAKAN WASSERSTEIN GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK-GRADIENT PENALTY (WGAN-GP)

HAJJAR AYU CAHYANI KUSWARDHANI
NPM 21083010044

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU
Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SAINS DATA
SURABAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

AUGMENTASI DATA CITRA MIKROSKOPIS *SPERMATOZOA* MANUSIA MENGGUNAKAN *WASSERSTEIN GENERATIVE* *ADVERSARIAL NETWORK-GRADIENT PENALTY (WGAN-GP)*

Oleh:

Hajjar Ayu Cahyani Kuswardhani
NPM. 21083010044

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 10 September 2025:

Menyetujui,

Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU.
NIP. 19700619 2021211 009



(Pembimbing I)

Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T.
NIP. 19830310 202121 1 006



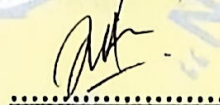
(Pembimbing II)

**Dr. Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T.,
IPU., Asean, Eng.**
NIP. 19801205 200501 1 002



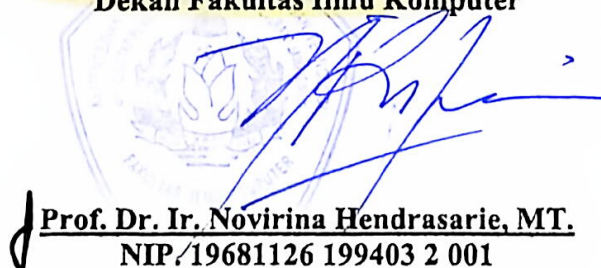
(Ketua Penguji)

Alfan Rizaldy Pratama, S.Tr.T., M.Tr.Kom.
NIP. 19990606 202406 1 001



(Penguji I)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu Komputer



Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT.
NIP. 19681126 199403 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

**AUGMENTASI DATA CITRA MIKROSKOPIS *SPERMATOZOA*
MANUSIA MENGGUNAKAN *WASSERSTEIN GENERATIVE
ADVERSARIAL NETWORK-GRADIENT PENALTY (WGAN-GP)***

Oleh:

**HAJJAR AYU CAHYANI KUSWARDHANI
NPM. 21083010044**

Telah disetujui untuk mengikuti Ujian Skripsi

Menyetujui,

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

Dr. Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T., IPU., Asean, Eng.
NIP. 19801205 200501 1 002

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Hajjar Ayu Cahyani Kuswardhani
NPM : 21083010044
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, 15 November 2025
Yang Membuat Pernyataan,



HAJJAR AYU CAHYANI KUSWARDHANI
NPM. 21083010044

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Hajjar Ayu Cahyani Kuswardhani / 21083010044
Judul Skripsi : Augmentasi Data Citra Mikroskopis *Spermatozoa* Manusia Menggunakan *Wasserstein Generative Adversarial Network-Gradient Penalty* (WGAN-GP)
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU
2. Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T.

Subjektivitas dan durasi analisis morfologi sperma secara manual menjadi kendala signifikan dalam diagnosis infertilitas pria. Otomatisasi berbasis *deep learning* seperti YOLOv5 menawarkan solusi yang lebih efisien, namun performanya sangat bergantung pada kuantitas dan keragaman data pelatihan. Penelitian ini secara sistematis membandingkan dua strategi augmentasi data, yaitu augmentasi geometris tradisional dan augmentasi generatif berbasis *Wasserstein Generative Adversarial Network with Gradient Penalty* (WGAN-GP), untuk meningkatkan performa deteksi sperma pada citra mikroskopis. Model YOLOv5 dilatih dalam tiga kondisi: tanpa augmentasi, dengan augmentasi tradisional, dan dengan augmentasi berbasis WGAN-GP. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa augmentasi tradisional merupakan strategi paling efektif, dengan nilai mAP@0.5 tertinggi sebesar 0.595 serta keseimbangan antara presisi dan *recall*. Meskipun augmentasi WGAN-GP berhasil meningkatkan performa dibandingkan model dasar (mAP@0.5 0.539 vs 0.494), kualitas citra sintetis yang dihasilkan, diukur menggunakan *Fréchet Inception Distance* (FID) sebesar 110, masih belum mampu menandingi efektivitas augmentasi tradisional. Studi ini menegaskan bahwa untuk konteks citra mikroskopis sperma yang kompleks, augmentasi geometris tradisional tetap menjadi pendekatan yang lebih andal untuk mengoptimalkan performa model deteksi berbasis YOLOv5.

Kata kunci : Augmentasi Data, Deteksi Objek, Morfologi Sperma, YOLOv5, *Generative Adversarial Networks* (GAN).

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Student Name / NPM : Hajjar Ayu Cahyani Kuswardhani / 21083010044
Thesis Title : *Augmentation of Human Spermatozoa Microscopic Image Data Using Wasserstein Generative Adversarial Network–Gradient Penalty (WGAN-GP)*
Advisor : 1. Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU
2. Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T.

ABSTRACT

Manual sperm morphology analysis is hindered by its subjectivity and time-consuming nature, presenting a significant bottleneck in diagnosing male infertility. While deep learning models like YOLOv5 offer a promising solution for automation, their performance is highly contingent on the diversity of the training dataset. This study provides a systematic comparison of two data augmentation strategies: traditional geometric transformations and a generative approach using Wasserstein Generative Adversarial Network with Gradient Penalty (WGAN-GP). A YOLOv5 model was trained under three distinct scenarios: a baseline without augmentation, a model with traditional augmentation, and one supplemented with WGAN-GP-generated images. Our findings indicate that traditional augmentation proved to be the most effective strategy, yielding the highest mAP@0.5 of 0.595 with a strong balance between precision and recall. Although WGAN-GP augmentation improved performance over the baseline model (mAP@0.5: 0.539 vs. 0.494), the quality of its synthetic images, measured by a Fréchet Inception Distance (FID) score of 110, was insufficient to outperform traditional methods. We conclude that traditional geometric augmentation currently stands as the more robust and reliable method for optimizing object detection models for complex microscopic sperm imagery.

Keywords: *Data Augmentation, Object Detection, Sperm Morphology, YOLOv5, Generative Adversarial Networks (GAN).*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Augmentasi Data Citra Mikroskopis *Spermatozoa* Manusia Menggunakan *Wasserstein Generative Adversarial Network-Gradient Penalty* (WGAN-GP)”** dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU selaku Dosen Pembimbing utama 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.Eng. Ir. Dwi Arman Prasetya, S.T., M.T., IPU selaku Ketua Program Studi Sains Data Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran “ Jawa Timur.
3. Dr. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT., selaku Wakil Dekan I Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, dan selaku dosen pembimbing pertama atas bantuan, kritik, dan saran yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Dr. Ir. Mohammad Idhom, S.P., S.Kom., M.T., selaku dosen pembimbing kedua atas bantuan, kritik, dan saran yang membangun dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Dosen-dosen Program Studi Sains Data yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalamannya kepada penulis selama menempuh pendidikan Sarjana di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
6. Teman-teman seperjuangan di lingkungan kampus Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang membantu dan mendukung penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

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, November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Penelitian Terdahulu	9
2.2. Landasan Teori.....	14
2.2.2. Pengolahan Citra Digital	16
2.2.4. Augmentasi Data	20
2.2.5. Rotasi.....	20
2.2.6. Refleksi	21
2.2.7. <i>Wasserstein Generative Adversarial Network</i>	22
2.2.8. <i>Frechet Inception Distance</i>	24
2.2.9. <i>Transfer Learning</i>	25
2.2.10. YOLOv5.....	26

BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	29
3.1. Variabel Penelitian dan Sumber Data	29
3.2. Langkah Analisis.....	29
3.2.1. Akuisisi Data.....	30
3.2.2. Prapemrosesan Data	31
3.2.3. Augmentasi Transformasi	35
3.2.4. Perancangan dan Pelatihan WGAN-GP	39
3.2.5. Anotasi	44
3.2.6. <i>Transfer Learning</i> YOLO v5 untuk Deteksi Objek	46
3.3 Desain Sistem.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1. Hasil Augmentasi Data Citra Mikroskopis	51
4.1.1 Augmentasi menggunakan WGAN-GP	51
4.1.2 Augmentasi Tradisional (Geometrik)	57
4.2. Hasil Pengujian Deteksi Objek menggunakan YOLO v5	58
4.2.1. Skenario 1: Dataset Orisinal.....	59
4.2.2. Skenario 2: Dataset dengan Augmentasi Tradisional	60
4.2.3. Skenario 3: Augmentasi Menggunakan WGAN.....	61
4.2.4. Perbandingan Ketiga Skenario	62
BAB V PENUTUP	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran Pengembangan	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Abnormalitas pada Morfologi Kepala Sperma [8]	15
Gambar 2.2 Peningkatan Kontras pada Citra Medis [15].....	17
Gambar 2.3 Rotasi pada Gambar [11]	21
Gambar 2.4 Refleksi pada Gambar [11].....	22
Gambar 2.5 Arsitektur WGAN [50]	23
Gambar 2.6 Arsitektur YOLOv5	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian	30
Gambar 3.2 Sampel Citra Sperma pada Data Primer	31
Gambar 3.3 Hasil CLAHE pada Dataset Primer	33
Gambar 3.4 Hasil Akhir <i>Preprocessing</i> pada Data Primer	33
Gambar 3.5 Arsitektur Model WGAN-GP, (a) Arsitektur Generator, (b) Arsitektur Critic.....	42
Gambar 3.6 Proses Anotasi Dataset menggunakan LabelImg	45
Gambar 3.7 <i>Flowchart</i> Desain Sistem <i>Web-App</i>	47
Gambar 3.8 Halaman <i>Homepage</i>	48
Gambar 3.9 Halaman untuk <i>Upload Input</i> Citra	48
Gambar 3.10 Halaman Hasil <i>Preprocessing</i>	49
Gambar 3.11 Halaman Hasil Deteksi	49
Gambar 3.12 Halaman <i>History</i>	50
Gambar 3.13 Detail Info pada <i>History</i>	50
Gambar 4.1 Grafik Loss pada Pelatihan WGAN-GP	51
Gambar 4.2 Grafik nilai rata-rata D(real) dan D(fake).....	52
Gambar 4.3 Contoh Citra Objek Tunggal <i>Spermatozoa</i> sebagai Input WGAN-GP	53
Gambar 4.4 Data Sintetis yang Dihasilkan pada Data Primer.....	54
Gambar 4.5 Sampel Citra SMIDS, (a) Normal, (b) Non-Sperma, (c) Abnormal.....	55
Gambar 4.6 Sampel Citra Sintetis untuk SMIDS	56

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Daftar Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1 Algoritma Prapemrosesan Citra	34
Tabel 3.2 Algoritma Rotasi pada Citra Mikroskopis.....	37
Tabel 3.3 Algoritma Refleksi pada Citra Mikroskopis	39
Tabel 3.4 Algoritma <i>Wasserstein GAN-Gradient Penalty</i>	41
Tabel 3.5 Algoritma Pengaturan <i>Hyperparameter</i> WGAN-GP	41
Tabel 3.6 Rincian <i>Hyperparameter</i>	43
Tabel 3.7 Algoritma Pelatihan WGAN-GP.....	44
Tabel 3.8 Distribusi Jumlah Kelas.....	45
Tabel 3.9 Tabel Perbandingan Evaluasi Model dengan Skenario Berbeda.....	47
Tabel 4.1 Nilai FID untuk SMIDS	56
Tabel 4.2 Hasil Augmentasi menggunakan Rotasi.....	58
Tabel 4.3 Hasil Augmentasi menggunakan Pencermian	58
Tabel 4.4 Hasil Evaluasi Final pada <i>Test Set</i> untuk Skenario 1	59
Tabel 4.5 Hasil Evaluasi Final pada <i>Test Set</i> untuk Skenario 2	60
Tabel 4.6 Hasil Evaluasi Final pada <i>Test Set</i> untuk Skenario 3	61
Tabel 4.7 Perbandingan Performa YOLOv5	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Source Code</i>	73
Lampiran 2. <i>Code GUI Web-App</i>	73
Lampiran 3. Surat Layak Etik Penelitian	74
Lampiran 4. LoA Publikasi Jurnal	74

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

I	:	Intensitas
W_R	:	<i>weight factor</i>
H	:	<i>hue</i>
S	:	<i>saturation</i>
V	:	<i>value</i>
dst	:	Gambar akumulator
scr	:	Gambar Input
F	:	<i>Foreground</i>
B	:	<i>Background</i>
f	:	<i>Frame</i>
SE	:	<i>Structuring Element</i>
ECD	:	<i>Equivalent Circular Diameter</i>
b	:	bias
$WED(f_i \rightarrow$ $, prototype)$	:	bobot <i>euclidian distance</i> antara vektor fitur $f_i \rightarrow$
$f(x)$	:	Fungsi Vektor Masukan
$d(x', x)$	:	jarak di antara data uji z ke setiap vector data latih
$K(x, y)$	:	fungsi kernel linear
$G(x)$	:	fungsi Gaussian satu dimensi
σ	:	standard deviasi dari distribusi
$G(x, y)$	:	fungsi Gaussian dua dimensi