

**PENERAPAN YOLOv8 DALAM KLASIFIKASI DAN PERHITUNGAN
JUMLAH SPERMA DAN NON-SPERMA MANUSIA BERDASARKAN
MORFOLOGI**

(Skripsi)

Oleh

Salma Dara Canita

NPM 2117051087



**JURUSAN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**PENERAPAN YOLOv8 DALAM KLASIFIKASI DAN PERHITUNGAN
JUMLAH SPERMA DAN NON-SPERMA MANUSIA BERDASARKAN
MORFOLOGI**

Oleh

Salma Dara Canita

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapat Gelar
SARJANA KOMPUTER**

Pada

**Jurusan Ilmu Komputer
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**JURUSAN ILMU KOMPUTER
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENERAPAN YOLOv8 DALAM KLASIFIKASI DAN PERHITUNGAN JUMLAH SPERMA DAN NON-SPERMA MANUSIA BERDASARKAN MORFOLOGI

Oleh

SALMA DARA CANITA

Infertilitas pada pria menjadi salah satu faktor dalam permasalahan reproduksi, salah satunya disebabkan oleh kualitas dan morfologi sperma yang tidak normal. Proses manual yang selama ini digunakan memerlukan waktu lama dan rentan terhadap kesalahan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan dan menghitung jumlah sperma dan non-sperma manusia berdasarkan morfologi menggunakan metode YOLOv8. Dataset yang digunakan merupakan VISEM dataset dengan format video, yang kemudian diekstrak menjadi 1.330 citra yang telah dianotasi ke dalam dua kelas: sperma dan non-sperma. Tahapan *training* dilalui dengan 6 skenario dengan 3 *epoch* yaitu 90, 120, dan 140 serta 2 *learning rate* sebesar 0.002 dan 0.0002. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik mAP, precision, recall, dan Absolute Count Difference. Hasil penelitian menunjukkan bahwa YOLOv8 mampu mendeteksi dan mengklasifikasi objek dengan mAP tertinggi sebesar 74,2%, serta menunjukkan akurasi deteksi objek kecil yang baik. Model terbaik diperoleh pada kombinasi epoch 120 dan learning rate 0.002. Evaluasi perhitungan jumlah objek juga menunjukkan hasil terbesar sejumlah 95,39%. Penelitian ini menunjukkan bahwa YOLOv8 efektif dalam melakukan klasifikasi dan perhitungan jumlah sperma dan non-sperma manusia secara otomatis berdasarkan morfologi.

Kata Kunci: *Deep Learning*, YOLOv8, Sperma, Non-sperma, Deteksi Objek, Klasifikasi.

ABSTRACT

APPLICATION OF YOLOv8 IN CLASSIFICATION AND COUNTING OF HUMAN SPERM AND NON-SPERM BASED ON MORPHOLOGY

By

SALMA DARA CANITA

Male infertility is one of the factors in reproductive problems, often caused by poor sperm quality and abnormal morphology. The manual process that has been used so far takes a long time and is prone to human error. This study aims to classify and count human sperm and non-sperm based on morphology using the YOLOv8 method. The dataset used is the VISEM dataset in video format, which is then extracted into 1,330 images that have been annotated into two classes: sperm and non-sperm. The training stage is carried out with 6 scenarios with 3 epochs, namely 90, 120, and 140 and 2 learning rates of 0.002 and 0.0002. Evaluation metrics included mAP, precision, recall, and Absolute Count Difference. The results indicate that YOLOv8 is capable of detecting and classifying objects with a maximum mAP of 74.2% and demonstrates high accuracy in detecting small objects. The best-performing model was obtained with the combination of 120 epochs and a 0.002 learning rate. The object counting evaluation also achieved the highest accuracy of 95.39%. This study demonstrates that YOLOv8 is effective for automatic classification and counting of human sperm and non-sperm based on morphology.

Kata Kunci: Deep Learning, YOLOv8, Sperm, Non-sperm, Object Detection, Classification.

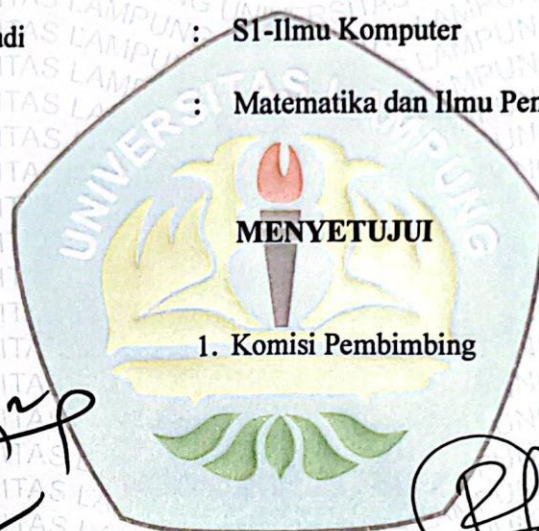
**Judul Skripsi : PENERAPAN YOLOv8 DALAM
KLASIFIKASI DAN PERHITUNGAN
JUMLAH SPERMA DAN NON-SPERMA
MANUSIA BERDASARKAN MORFOLOGI**

Nama Mahasiswa : Salma Dara Canita

Nomor Pokok Mahasiswa : 2117051087

Program Studi : SI-Ilmu Komputer

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



1. Komisi Pembimbing

Dr. Aristoteles, S.Si., M.Si.
NIP. 198105212006041002

Ridho Sholehurrohman, M.Mat
NIP. 232111970128101

2. Ketua Jurusan Ilmu Komputer

Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom
NIP. 196806111998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Aristoteles, S.Si., M.Si.



Sekretaris

: Ridho Sholehurrohman, M.Mat.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Wartariyus, S.Kom., M.T.I.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 25 Maret 2025

PERNYATAAN

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Salma Dara Canita

NPM : 2117051087

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **"Penerapan YOLOv8 Dalam Klasifikasi Dan Perhitungan Jumlah Sperma Dan Non-Sperma Manusia Berdasarkan Morfologi"** merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan karya orang lain. Seluruh tulisan yang tertuang di skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari terbukti skripsi saya merupakan hasil penjiplakan atau dibuat orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi berupa pencabutan gelar yang telah saya terima.

Bandar Lampung, 25 Maret 2025



Salma Dara Canita

NPM. 2117051087

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada tanggal 07 Juli 2003 Bumi Waras, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Candra dan Ibu Yunita Syofi. Penulis menyelesaikan pendidikan formal pertama kali di Taman Kanak-kanak (TK) Assalam 1 dan selesai pada tahun 2008, lalu pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 2 Rawa Laut pada tahun 2015. Kemudian pendidikan menengah pertama di MTS Negeri 2 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2018, lalu melanjutkan ke pendidikan menengah atas di MAN Insan Cendekia OKI yang diselesaikan pada tahun 2021.

Pada tahun 2021 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis melakukan beberapa kegiatan antara lain.

1. Menjadi Anggota Muda Ilmu Komputer (ADAPTER) Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada periode 2021/2022.
2. Menjadi anggota Bidang Eksternal Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada periode 2021/2022 dan periode 2021/2022.
3. Menjadi Bendahara Bidang Eksternal Himpunan Mahasiswa Jurusan Ilmu Komputer pada periode 2022/2023.
4. Menjadi anggota Divisi Kemitraan dan Kerjasama (KNK) Generasi Baru Indonesia Universitas Lampung pada periode 2022/2023.
5. Menjadi Asisten Dosen Jurusan Ilmu Komputer pada mata kuliah Matematika tahun 2022, Matematika diskrit dan Basis Data pada tahun 2023.

6. Menjadi anggota panitia Divisi Lomba Cepat Tepat Komputer pada acara Pekan Raya Jurusan Ilmu Komputer tahun 2022.
7. Menjadi *Steering Committee* Presidium Pelaksana pada acara Pekan Raya Jurusan Ilmu Komputer tahun 2023.
8. Melaksanakan Kerja Praktik di PT. Perkebunan Nusantara VII pada periode 2023/2024 dengan program kerja pengembangan *website*.
9. Mengikuti Studi Independen MSIB di RevoU *Tech Academy* pada tahun 2024
10. Mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode II tahun 2024 di Desa Karya Basuki, Kecamatan Waway Karya, Kabupaten Lampung Timur dengan program kerja digitalisasi Desa Karya Basuki.

MOTTO

1. *“Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah berjanji, bahwa sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”*
(QS. Al-Insyirah: 5-6)
2. *“Setiap orang bertanggung jawab atas apa yang telah dilakukannya.”*
(QS. Ar-Rum: 60)
3. *“Barangsiapa menyampaikan satu ilmu saja dan ada orang yang mengamalkannya, maka walaupun yang menyampaikan sudah tiada (meninggal), ia akan tetap memperoleh pahala.”*
(HR. Al Bukhari)
4. *“We are all stars but we must learn how to shine”*
(Marilyn Monroe)
5. *“I kept myself to myself .”*
(Princess Diana)
6. *“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar melainkan milik mereka yang senantiasa berusaha.”*
(Bacharuddin Jusuf Habibie)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbilalamin

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Agung Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam.

Kupersembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Yang selalu mendukung, mendo'akan, memberikan cinta dan kasih sayang yang tak terhingga yang selalu menyertaiku. Kuucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas pengorbanan dan perjuangan dalam mendidik dan membesarkanku yang tak akan dapat terbalaskan.

Seluruh Keluarga Besar Ilmu Komputer 2021

Yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung dan Jurusan Ilmu Komputer

Tempat bernaung mengemban semua ilmu untuk menjadi bekal hidup.

SANWACANA

Puji Syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan nikmat, rahmat dan karunia-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Penerapan YOLOv8 Dalam Klasifikasi Dan Perhitungan Jumlah Sperma Dan Non-Sperma Manusia Berdasarkan Morfologi”** dengan baik dan lancar.

Terima kasih penulis ucapkan kepada pihak-pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan dan membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis tujukan kepada:

1. Umi tersayang dan ayah tercinta yang selalu dan senantiasa mengajarkan kebaikan, memberikan do'a, motivasi dan dukungan baik moral maupun material yang luar biasa dan selalu mencurahkan kasih sayang dengan penuh cinta. Alhamdulillah kini penulis sudah berada di tahap ini, menyelesaikan penulisan skripsi untuk meraih gelar sarjana. Terima kasih atas dukunganmu yang tiada henti.
2. Seluruh keluarga besar Nurali dan Chairullah, seri, mamah, papah, lalu ketiga adik saya Nasywa, Eca, dan Ragah, yang selalu mendo'akan memberikan semangat dan tawa saat penulis merasa kesulitan dan kegundahan.
3. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
4. Bapak Dwi Sakethi, S.Si., M.Kom. selaku Ketua Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
5. Ibu Yunda Heningtyas, M.Kom. selaku Sekretaris Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung.
6. Ibu Ossy Dwiendah Wulansari, S.Si., M.T. selaku pembimbing akademik penulis yang selalu mendukung peningkatan akademik penulis

7. Bapak Dr. Aristoteles, S.Si., M.Si. selaku pembimbing utama yang telah memberikan arahan, ide, kritik, serta saran dalam menyelesaikan penelitian ini.
8. Bapak Ridho Sholehurrohman, M. Mat selaku pembimbing kedua yang selalu dapat meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan arahan dan bantuan ketika mengalami kesulitan dalam menyelesaikan penelitian ini.
9. Bapak Wartariyus, S.Kom., M..T.I. sebagai pembahas yang telah memberikan masukan serta saran yang bermanfaat untuk perbaikan skripsi ini.
10. Seluruh Staf dan Karyawan Jurusan Ilmu Komputer, Ibu Ade Nora Maela, Bang Zainuddin, Mas Nofal, dan Mas Syam yang telah membantu segala urusan administrasi penulis di Jurusan Ilmu Komputer.
11. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Ilmu Komputer FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu, motivasi dan pengalaman hidup selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung.
12. Sahabat seperjuangan semasa kuliah Amalia Nurul Rahmawati, Cely Febita Ilham, Dwika Pangestuti, Jenita Lusiana Lukmawati, Lathifah Putri Aresti, dan Sarah Rosniani. yang selalu mendukung, menemani, dan berbagi cerita indah selama masa perkuliahan.
13. Sahabat penulis Ica, Dila, Ghea, Feo, Fariza, Xania, Intan, Febi, Sifah yang selalu menjadi pendengar yang baik dalam cerita apapun baik keluh kesah penulis sampai selalu memberi tawa walau hanya bertemu *online*. Terima kasih telah berteman baik dan banyak membantu penulis dalam berbagai hal.
14. Teman-teman Himakom dan Pimpinan Tahun 2023 terutama Pimpinan Eksternal 2023 John dan Kartika yang sudah mengajarkan banyak hal dalam berorganisasi, mencoba banyak hal baru, memberikan banyak pengalaman, terima kasih telah menjadikan masa perkuliahan menjadi lebih menyenangkan.
15. Teman-teman KKN, Afifah, Sevira, Ayu, Natia, Akbar, dan Farhan yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada penulis. Terima kasih atas kesan dan cerita seru yang kalian berikan semasa KKN dan setelahnya.

16. Keluarga Ilmu Komputer 2021 yang telah memberikan pengalaman berharga. Terima kasih telah menjadi rekan kelompok, rekan diskusi, dan rekan berjuang selama menjalankan studi di Jurusan Ilmu Komputer Universitas Lampung.
17. Seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
18. Diri saya sendiri, Salma Dara Canita. Apresiasi sebesar-besarnya atas segala kerja keras dan semangatnya, sehingga tidak pernah memutuskan untuk menyerah, sesulit apapun penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena telah mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan luar dan bertahan sampai sejauh ini, serta Selamat karena telah menyelesaikan tanggung jawabnya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Namun, penulis sangat mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi para civitas akademik Universitas Lampung, khususnya mahasiswa Ilmu Komputer.

Bandar Lampung, 25 Maret 2025

Salma Dara Canita
NPM. 2117051087

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Sperma.....	8
2.3 Morfologi	8
2.4 Identifikasi.....	9
2.5 Klasifikasi.....	9
2.6 Pengolahan Citra dan Video.....	10
2.6.1 Pengolahan Citra Digital	10
2.6.2 Pengolahan Video Digital	11
2.7 Resize Image	11
2.8 Random Sampling	12
2.9 Artificial Intelligence.....	12
2.10 Machine Learning	13
2.11 Deep Learning	13
2.12 CNN (Convolutional Neural Network).....	14
2.12.1 Convolutional Layer.....	15
2.12.2 Pooling Layer	16
2.12.3 ReLU (Rectified Linear Units).....	17
2.12.4 Fully Connected Layer.....	19
2.13 YOLO (You only look once)	20

2.13.1 <i>You only look one</i> versi 8 (YOLOv8).....	22
2.14 Region of Interest (ROI)	26
2.15 Confussion Matrix.....	26
2.16 Mean Average Precision (mAP)	28
2.17 <i>Absolute Count Difference</i>	28
2.18 <i>Hyperparameter Tuning</i>	29
III. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Waktu dan Tempat	30
3.1.1 Tempat Penelitian.....	30
3.1.2 Waktu Penelitian	30
3.2 Alat Pendukung.....	30
3.3 Tahapan Penelitian	32
3.3.1 Pengumpulan Dataset.....	32
3.3.2 Pre-processing	34
3.3.3 Pembagian Data.....	34
3.3.4 Training Data.....	35
3.3.5 Perhitungan Objek.....	35
3.4 Evaluasi	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Pengumpulan Dataset	36
4.2 Pre-processing dataset.....	37
4.2.1 Ekstraksi Video ke Image	37
4.2.2 <i>Resize Image</i>	39
4.2.3 Anotasi Data.....	40
4.3 Pembagian Dataset	41
4.4 Training Model.....	42
4.4.1 File Konfigurasi.....	43
4.4.2 Hyperparameter	43
4.4.3 Ilustrasi Proses Konvolusi Pada Citra <i>Input</i>	45
4.4.4 <i>Intersection over Union</i>	45
4.4.5 Hasil <i>Training and Evaluate Model</i> YOLOv8.....	47
4.5 Hasil <i>Running</i> YOLOv8.....	56

4.5.1 Video Inputan.....	56
4.5.2 Hasil <i>Running</i>	57
4.6 Penentuan ROI	59
4.7 Hasil Deteksi dan Perhitungan Sperma dan Non-sperma	61
4.7.1 Perhitungan Program.....	61
4.7.2 Perhitungan Manual	66
4.7.3 Evaluasi Hasil Perhitungan Sperma dan Non-Sperma	67
V. PENUTUP	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Morfologi sperma (Shari, 2022)	8
Gambar 2. Jenis Citra Digital	11
Gambar 3. Pengolahan Video Digital (Hong, 2020)	11
Gambar 4. Keterkaitan AI, ML, dan Deep Learning (A, 2022)	13
Gambar 5. Arsitektur CNN (Nurmaini et al., 2021)	14
Gambar 6. Feature Map (Nurmaini et al., 2021)	16
Gambar 7. Pooling Layer	17
Gambar 8. Ilustrasi ReLU (Alifah et al., 2023)	18
Gambar 9. Ilustrasi SiLU (Buduma, 2015)	19
Gambar 10. Fully Connected Layer (Aabidi et al., 2023)	20
Gambar 11. Arsitektur Metode Yolo (Nathania, 2024)	21
Gambar 12. Komponen Bounding Box (VISEM Dataset)	22
Gambar 13. Arsitektur YOLOv8 (Yanto et al., 2023)	23
Gambar 14. Arsitektur C2F	25
Gambar 15. Arsitektur SPPF	25
Gambar 16. Alur Tahapan Penelitian	33
Gambar 17. Pengumpulan Dataset Visem	37
Gambar 18. Hasil Ekstraksi <i>Frame</i>	38
Gambar 19. <i>Resize Image</i>	39
Gambar 20. Anotasi Pada Objek	41
Gambar 21. Hasil <i>Random Sampling</i> untuk data <i>train</i> , <i>test</i> , dan validasi	42
Gambar 22. Ilustrasi IoU	46
Gambar 23. Ilustrasi Ground Truth dan Predicted	46
Gambar 24. Perbandingan precision, recall, dan mAP tiap epoch	48
Gambar 25. Grafik Hasil Proses <i>Training</i> dengan <i>Epoch 90 Learning Rate 0.002</i>	49
Gambar 26. Grafik Hasil Proses <i>Training</i> dengan <i>Epoch 90 Learning Rate 0.0002</i>	50
Gambar 27. Grafik Hasil Proses <i>Training</i> dengan <i>Epoch 120 Learning Rate 0.002</i>	51
Gambar 28. Grafik Hasil Proses <i>Training</i> dengan <i>Epoch 120 Learning Rate</i> <i>0.0002</i>	52
Gambar 29. Grafik Hasil Proses <i>Training</i> dengan <i>Epoch 140 Learning Rate 0.002</i>	53
Gambar 30. Grafik Hasil Proses <i>Training</i> dengan <i>Epoch 140 Learning Rate 0.002</i>	54
Gambar 31. Trained model YOLOv8	56
Gambar 32. Hasil Deteksi Label	58
Gambar 33. Hasil Deteksi Video	59

Gambar 34. Sebelum dan Setelah Pemberian ROI pada Video	59
Gambar 35. Tahapan Perhitungn Program	61
Gambar 36. Contoh Perhitungan Program	62
Gambar 37. Hasil Video Perhitungan Program.....	63
Gambar 38. Grafik Deteksi dan Perhitungan pada video 1.....	64
Gambar 39. Grafik Deteksi dan Perhitungan pada video 2.....	64
Gambar 40. Grafik Deteksi dan Perhitungan pada video 3.....	65
Gambar 41. Grafik Deteksi dan Perhitungan pada video 4.....	65
Gambar 42. Grafik Deteksi dan Perhitungan pada video 5.....	66
Gambar 43. Hasil Perhitunan Manual pada 1 Frame	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2. Kategori Prediksi Model pada Confussion Matrix.....	27
Tabel 3. Jadwal Kegiatan	31
Tabel 4. Tabel Hyperparameter.....	43
Tabel 5. Hasil akurasi train data dari percobaan 3 <i>hyperparameter</i> epoch.....	48
Tabel 6. Karakteristik Video Inputan.....	56
Tabel 7. Tabel Hasil Deteksi Penjumlahan Objek	67

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada hakikatnya makhluk hidup diciptakan berpasangan termasuk juga manusia. Umumnya manusia yang telah berpasangan melakukan pernikahan atau perkawinan dengan salah satu tujuan untuk memelihara keturunan. Kehadiran anak tidak hanya menjadi wujud cinta dalam keluarga, tetapi juga berperan penting dalam kelangsungan generasi dan pewarisan nilai-nilai luhur. Dari sudut pandang reproduksi, pernikahan menjadi cara alamiah dan legal untuk melanjutkan keturunan, memastikan kualitas kesehatan dan pendidikan generasi selanjutnya, serta menjaga keberlanjutan umat manusia secara harmonis. Perkawinan tidak hanya berfungsi sebagai ikatan sosial, tetapi juga sebagai sarana untuk memastikan keseimbangan reproduksi dan pertumbuhan populasi yang seimbang (Taurat Afiati et al., 2022).

Reproduksi adalah proses biologis yang dilakukan oleh dua individu untuk menghasilkan keturunan guna mempertahankan keturunan serta mewariskan materi genetik. (Andriyani et al., 2015) berpendapat Organ reproduksi wanita terbagi menjadi organ externa dan organ interna. Dimana organ externa terdiri dari mons veneris, labia mayora, nimfae, dan klitoris. Sedangkan organ bagian dalam terdiri dari uterus yaitu tempat menahan ovum (sel telur) setelah dibuahi, lalu ovum yang berisikan sejumlah besar ovum belum matang, seta tuba fallopi atau saluran telur. Sedangkan untuk organ reproduksi laki laki terdapat testis yaitu organ kelamin laki-laki untuk pengembangbiakan dimana spermatozoa dibentuk berikut dengan hormon kelamin laki-laki yaitu testosteron. Lalu testosteron adalah hormon kelamin

laki-laki yang bertanggung jawab atas pengembangan sifat-sifat kelamin sekunder. Selain itu adapula vesikula seminalis atau kantung semen, epididimis, vas deferens, kelenjar prostat, skrotum berupa kantung yang di dalamnya berisis testis, dan penis atau buah zakar sebagai alat senggama dan sebagai pembuangan sperma (Rahayu, 2023).

Pertemuan antara inti ovum dengan inti spermatozoa disebut konsepsi atau fertilisasi nantinya akan berkembang menjadi zigot dan nantinya berkembang menjadi bayi (Wardiyah et al., 2016). Permasalahan reproduksi adalah adanya infertilitas yang mana dapat dialami perempuan dan laki-laki. Infertilitas dalam artian klinis memiliki makna kesuburan menurun atau kondisi dimana sepasang suami istri yang berusaha untuk hamil ≥ 12 bulan namun belum berhasil (Akbar et al., 2020). Infertilitas sendiri telah mempengaruhi 8-12% pasangan di seluruh dunia berdasar aspek psikologis maupun fisiologis. Laki-laki sendiri berkontribusi pada faktor infertilitas sejumlah 4-50% dari semua kasus terdokumentasi. Berdasar data statistik tersebut, infertilitas pada laki-laki telah menarik perhatian peneliti dan praktisi media untuk meneliti lebih jauh dalam kurun waktu setengah abad terakhir ini (Zhang et al., 2024).

Menurut (Mazzilli et al., 2023) dan (Gatimel et al., 2017) hasil penelitian-penelitian tersebut masalah infertilitas pria terkait dengan viabilitas sperma yang buruk (oligospermia), produksi sperma yang rendah (oligozoospermia), maupun kelainan morfologi (teratozoospermia) seperti kepala yang tipis, kepala berbentuk amorf atau bisa disebut sperma yang memiliki kepala dengan bentuk tidak teratur, ada pula memiliki leher sasimetris dengan nilai klinis rendah. Sebagian besar peneliti dalam mengidentifikasi sperma masih menggunakan metode manual dengan mengamati langsung menggunakan bantuan mikroskop yang membutuhkan waktu serta biaya yang tinggi. Adanya perkembangan teknologi di bidang

komputer dapat membantu dalam menggunakan memperoleh teknologi tinggi seperti deep learning (Aristoteles et al., 2022).

Selama ini telah ada beberapa upaya untuk mengembangkan sistem dalam menganalisis sperma sejak tahun 1980-an (Priyansi et al., 2021). Terdapat beberapa metode untuk menilai kesuburan pria melalui sperma dengan menggunakan komputer, yaitu dengan melibatkan penggunaan *Computer-Assisted Sperm Analysis* (CASA) (Li et al., 2023). Namun, di dalam penelitian (Dobrovolny et al., 2023) dan (Hidayatullah et al., 2017) dalam evaluasi motilitas sperma sapi terdapat kekurangan dan keterbatasan kemampuan dari CASA. Dikarenakan motilitas sperma yang relatif cepat tetapi akurasi dan kecepatan pelacakan multi-sperma rendah. Penelitian lainnya menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dimana metode ini dikhususkan untuk memproses data dengan topologi grid seperti gambar maupun video. Dalam penelitiannyapun disebutkan bahwa menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) 3D dengan tujuan mendeteksi motilitas sperma lebih cepat dan akurat (Priyansi et al., 2021).

Seiring berjalannya waktu peneliti mulai mengobservasi penggunaan metode – metode lain seperti contoh menggunakan algoritma YOLO (*You Only Look Once*). YOLO (*You Only Look Once*) termasuk dalam algoritma machine learning yang berbasis CNN dengan fungsi sebagai *object detection* pada citra yang banyak (Redmon et al., 2016). Salah satunya diteliti oleh (Aristoteles et al., 2022) menggunakan algoritma YOLO (*You Only Look Once*) versi 4 dengan mengklasifikasikan sperma manusia dan non sperma berdasarkan morfologinya. Selanjutnya YOLO yang diperkenalkan pertama kali oleh Redmon pada tahun 2015 terus berkembang hingga terciptalah versi lanjutan YOLO salah satunya YOLOv8 yang dirilis oleh *Ultralytics* pada tahun 2023 dengan kemampuan mendeteksi secara cepat dan akurat dan dapat mendeteksi objek yang lebih kecil (Nusman et al., 2024).

Berdasarkan penelitian sebelumnya belum ada penggunaan metode YOLOv8 guna mengklasifikasikan sperma manusia dan menghitung jumlah sperma dan non-sperma manusia. Di antara berbagai model deteksi objek deep learning YOLOv8 mendapat perhatian yang signifikan karena akurasi yang tinggi serta kinerja yang real-time (Nguyen et al., 2023). YOLOv8 memiliki nilai presisi, recall, dan akurasi lebih tinggi dibandingkan model YOLO sebelumnya. Memiliki arsitektur baru menjadikan model YOLOv8 cocok untuk mendeteksi objek kecil dengan berbagai ukuran dengan komputasi yang lebih baik (Elavarasu & Govindaraju, 2024). Maka dari itu penulis tertarik menggunakan YOLOv8 untuk klasifikasi serta menghitung jumlah sperma dan non-sperma manusia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah pada penelitian ini yaitu klasifikasi, identifikasi, dan perhitungan sperma manusia berdasarkan morfologi menggunakan metode YOLOv8.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah diantaranya:

1. Penelitian ini menggunakan *dataset* Visem sperma manusia berbentuk video berekstensi AVI (*Audio Video Interleave*).
2. Menggunakan bahasa pemrograman python dengan mengimplementasikan metode yang digunakan ialah YOLOv8.
3. Terdapat dua objek *class* yang dianotasi dari *dataset* yaitu sperma dan non-sperma.
4. Perhitungan pada penelitian ini dilakukan untuk menghitung jumlah objek pada setiap *class*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menerapkan algoritma YOLOv8 dalam mengklasifikasikan dan menghitung sperma manusia berdasarkan morfologi.
2. Mengetahui hasil klasifikasi serta evaluasi kinerja algoritma YOLOv8 dalam mengklasifikasikan sperma manusia berdasarkan morfologi.
3. Menghitung banyaknya sperma dan non-sperma manusia menggunakan algoritma YOLOv8.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini diantaranya :

1. Mengetahui hasil kinerja dari YOLOv8 dalam mengidentifikasi sperma manusia berdasarkan morfologi serta menghitung banyaknya sperma dan non-sperma.
2. Membantu pengembangan model analisis sperma ke depan yang lebih efisien, khususnya dalam konteks penelitian infertilitas pada pria.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini dibutuhkan penelitian terdahulu yang relevan. Adapun penelitian tersebut sebagai berikut:

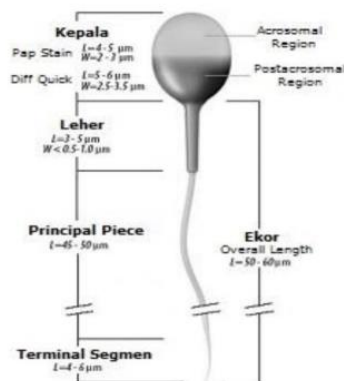
Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Objek	Pokok Pembahasan
1.	(Elavarasu & Govindaraju, 2024).	<i>Unveiling the Advancements: YOLOv7 vs YOLOv8 in Pulmonary Carcinoma Detection</i>	Dataset yang digunakan pada penelitian ini di unduh dari platform dataset online seperti kaggle yang menyajikan gambar cxr dari opasita paru, lalu LDIC menunjukkan gambar CT dengan mengklasifikasi ikan menjadi 3 kelompok, adapun lainnya UCI repository.	Berdasarkan dataset dataset tersebut penulis mencoba membandingkan metode YOLOv7 dan YOLOv8 dalam mendeteksi kanker paru paru. Dimana didapatkan hasil efektivitas dari YOLOv8 lebih baik dari YOLOv7 dengan nilai presisi 58.2% dan 51.2%. Akurasi juga didapatkan YOLOv8 sebesar 53.3% sedangkan YOLOv7 49%.
2.	(Nguyen et al., 2023).	<i>Transparent Tracking of Spermatozoa with YOLOv8</i>	Data terdiri dari 20 video berisi spermatozoa dengan durasi 30 detik	Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai presisi sejumlah 50% dan nilai mAP sejumlah 50.6%.

No	Peneliti	Judul	Objek	Pokok Pembahasan
3.	(Aristoteles et al., 2022).	<i>Identification of Human Sperm based on Morphology Using the You Only Look Once Version 4 Algorithm</i>	Sperma dan non sperma	Penelitian tersebut mendapati nilai AP (<i>Average Precision</i>) 90.31% untuk objek sperma dan 68.13% untuk objek non sperma dan untuk hasil pelatihan didapatkan nilai mAP (<i>Mean Average Precision</i>) sejumlah 79.58%.
4.	(Zhang et al., 2024).	<i>Sperm YOLOv8E-TrackEVD: A Novel Approach for Sperm Detection and Tracking</i>	Data terdiri dari 20 video berisi spermatozoa dengan durasi 30 detik	Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai presisi sejumlah 85% dan nilai mAP sejumlah 82.8%.
5.	Penelitian yang akan dilakukan	Implementasi YOLOv8 dalam Klasifikasi dan Perhitungan Jumlah Sperma dan Non-Sperma Manusia Berdasarkan Morfologi	Sperma dan Non-Sperma	Klasifikasi dan perhitungan sperma menggunakan metode <i>You Only Look Once</i> versi 8 (YOLOv8).

2.2 Sperma

Spermatozoa atau bisa disebut juga sperma, merupakan hasil dari reproduksi pria, sel ini sendiri merupakan sel hasil maturasi dari sel epitel germinal yang disebut spermatogonia (Shari, 2022). Spermatozoa terdiri dari kepala, bagian tengah, bagian utama, dan bagian akhir, secara morfologi sperma yang normal ialah yang memiliki akrosom menutupi 40-70% dari area kepala (Changsheng et al., 2021).



Gambar 1. Morfologi sperma (Shari, 2022)

Morfologi sperma yang dikatakan normal diantaranya memiliki kepala berbentuk oval dengan akrosom di bagian depan, lalu leher yaitu bagian yang terhubung baik di kepala dan ekor, serta ekor. Sedangkan non-sperma memiliki morfologi bentuk yang tidak teratur, tidak memiliki struktur internal yang kompleks seperti sperma, dan ukurannya lebih besar daripada sperma normal (Susilawati, 2019).

2.3 Morfologi

Morfologi diambil dari bahasa latin *morphus* yang memiliki arti wujud atau bentuk (Sarjani & Mawardi, 2017). Pengertian morfologi dalam arti bahasa adalah bagian dari ilmu bahasa yang mempelajari terkait bentuk kata maupun fungsi dari perubahan-perubahan bentuk kata tersebut (Henry,

2021). Sedangkan dalam ilmu biologi morfologi adalah studi yang mengenai bentuk, susunan tubuh dan perkembangan, penampilan eksternal tubuh, berbagai organ beserta fungsinya. Guna memudahkan peneliti dalam mengklasifikasi bentuk morfologi merupakan salah satu indikator yang sangat besar perannya dalam identifikasi hewan, tumbuhan, mikroba, dan lainnya. (Susilaswati & Sugandi, 2018).

2.4 Identifikasi

Identifikasi adalah proses yang berisikan mencari, menemukan, meneliti, mencatat data dan informasi mengenai seseorang maupun sesuatu. Pada dasarnya identifikasi adalah tindakan berkaitan dengan penentuan identitas benda, seseorang atau lainnya. Sedangkan untuk konteks biologi identifikasi dilakukan dengan menemukan persamaan dan perbedaan antar dua atau lebih makhluk hidup, lalu menentukan apakah makhluk hidup tersebut sama atau tidak. Inilah yang nantinya akan dilakukan pada dataset sperma manusia (Kamisna et al., 2022).

2.5 Klasifikasi

Klasifikasi adalah metode untuk mengelompokkan objek berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh masing-masing objek tersebut. Proses klasifikasi dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, baik secara manual maupun dengan bantuan teknologi. Klasifikasi manual dilakukan oleh manusia tanpa menggunakan algoritma cerdas, sedangkan klasifikasi yang didukung oleh teknologi memanfaatkan berbagai algoritma untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pengelompokan (Wibawa et al., 2018) .

Pada penelitian ini, peneliti melakukan klasifikasi pada data citra. Klasifikasi citra adalah proses pengelompokan atau pengkategorian objek

atau wilayah dalam suatu citra ke dalam kelas-kelas tertentu berdasarkan karakteristik visualnya. Klasifikasi sendiri ada berbagai jenisnya salah satunya adalah klasifikasi multi kelas (Jácome-Galarza et al., 2020).

Klasifikasi multi-kelas adalah ketika sebuah citra memiliki lebih dari dua kategori yang diklasifikasikan dan gambar tersebut tidak termasuk dalam lebih dari satu kategori. Akurasi adalah kriteria evaluasi yang umum digunakan dalam klasifikasi multi-kelas. Selain itu, metrik evaluasi seperti ketepatan, recall, dan *f measure* juga digunakan untuk klasifikasi ini (Bariyah et al., 2021).

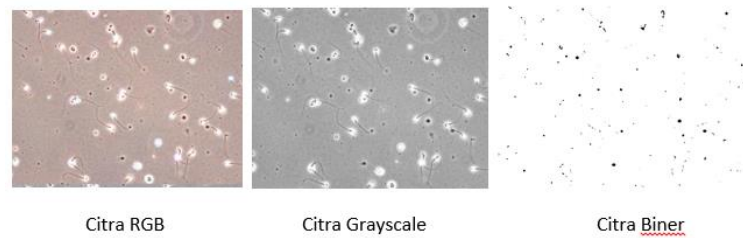
2.6 Pengolahan Citra dan Video

Berikut penjelasan pengolahan gambar atau citra digital dan video digital.

2.6.1 Pengolahan Citra Digital

Secara umum citra digital adalah keluaran dalam suatu sistem perekaman data yang bisa bersifat optik yaitu berupa foto atau gambar. Terdapat dua jenis citra yaitu citra analog dan citra digital dimana citra digital adalah yang dihasilkan oleh peralatan digital dan dapat langsung diolah komputer (Sianturi et al., 2020). Pengolahan citra digital adalah ilmu yang mempelajari teknik pengolahan citra, citra tersebut bisa berupa gambar maupun video (Ratna, 2020).

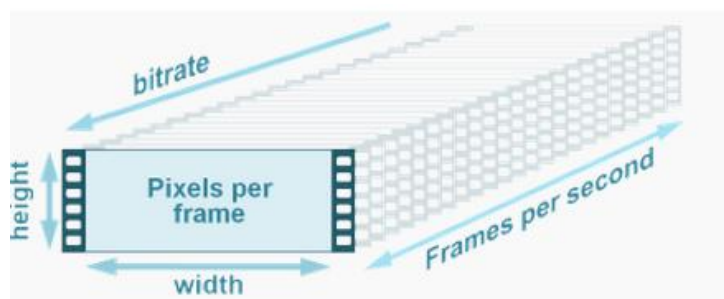
Dalam bukunya (Fitriyah & Wihandika, 2021) menyebutkan bahwa dalam pengolahan citra digital terdapat 3 langkah yaitu konversi warna yaitu citra dikonversi menjadi warna RGB, grayscale, ataupun biner, segmentasi membagi citra menjadi beberapa segmen atau region region berdasar tepi yang terdeteksi. Yang terakhir filter yaitu menganalisis bentuk, warna, dan ukuran dari region yang telah diselesaikan di bagian segmentasi sebelumnya.



Gambar 2. Jenis Citra Digital

2.6.2 Pengolahan Video Digital

Video merupakan salah satu bagian utama dari informasi multimedia. Secara visual, video adalah sekumpulan frame citra yang direkam menggunakan kamera dalam satu satuan waktu tertentu lalu disimpan dalam format file digital. Sedangkan video digital kumpulan citra yang memberikan informasi tentang semua objek yang terkandung dalam video tersebut seperti *frame rate*, *frame size*, dan *frame per second* (Madenda, 2015).



Gambar 3. Pengolahan Video Digital (Hong, 2020)

2.7 Resize Image

Resize image merupakan tindakan dari pengolahan citra dengan tujuan mengubah ukuran gambar menjadi ukuran yang diinginkan oleh pengguna. Terdapat dua metode yang paling banyak digunakan dalam mengubah ukuran gambar yaitu *scaling* dan *cropping*. *Scaling* merupakan pengubahan ukuran citra berdasarkan skala tanpa memikirkan proporsi dari panjang dan

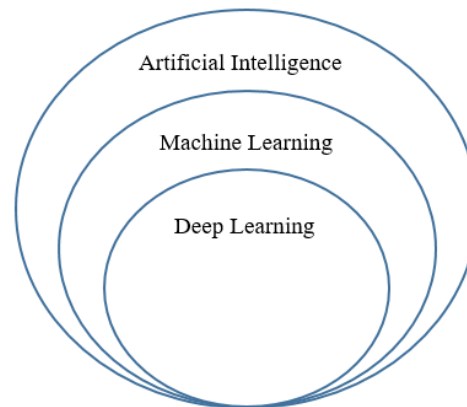
lebarnya. Sedangkan *cropping* hanya menghilangkan *pixel* pada citra dalam batasan area tertentu saja (Rokhmah et al., 2020)

2.8 Random Sampling

Random sampling merupakan salah satu teknik pengambilan sampel yang banyak digunakan. Dimana metode ini mengambil sampel tiap anggota populasi dengan kesempatan yang sama untuk terpilih menjadi sampel. Maka dari itu metode ini lebih baik dibanding metode lainnya dengan memberikan hasil kesimpulan yang lebih akurat untuk data citra. Dengan mengurangi jumlah data yang perlu diproses tanpa mengurangi akurasi hasil yang signifikan tentunya menjadikan pengerjaan pengolahan data citra menjadi lebih efisien (Arieska et al., 2018).

2.9 Artificial Intelligence

Kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* (AI) ialah peniruan kecerdasan manusia yang dimana dirancang dan dibangun dalam program komputer agar nantinya memiliki kemampuan selayaknya manusia dalam mengambil keputusan, logika, dan karakteristik kecerdasan lainnya. Dalam cabang ilmu komputer kecerdasan buatan digunakan untuk pengembangan sistem komputer dengan tujuan utama membuat mesin dapat belajar, memahami, merencanakan, dan beradaptasi, sehingga dapat menyelesaikan tugas secara mandiri selayaknya manusia. Contoh teknik pendekatan dari kecerdasan buatan ialah *machine learning* dan *deep learning* (Karyadi, 2023).



Gambar 4. Keterkaitan AI, ML, dan Deep Learning (A, 2022)

2.10 Machine Learning

Dalam jurnalnya (Mahesh, 2020) menyebutkan *machine learning* adalah cabang ilmu yang memberikan kemampuan kepada komputer agar komputer dapat memperoleh pengetahuan baru tanpa diprogram secara langsung, karena itu *machine learning* membantu pengolahan data menjadi lebih efisien serta dapat digunakan juga untuk menafsirkan informasi dari data yang diekstrak.

Machine learning bergantung pada beberapa algoritma berbeda untuk mengenali pola permasalahan dalam data agar dapat diselesaikan. Yang paling umum diantaranya yaitu *supervised learning* dan *unsupervised learning*. *Supervised learning* menggunakan data yang telah diberi label dengan variabel output yang perlu diprediksi, sedangkan *unsupervised learning* melibatkan penggunaan data yang tidak diberi label dalam menyimpulkan pola dari data tersebut.

2.11 Deep Learning

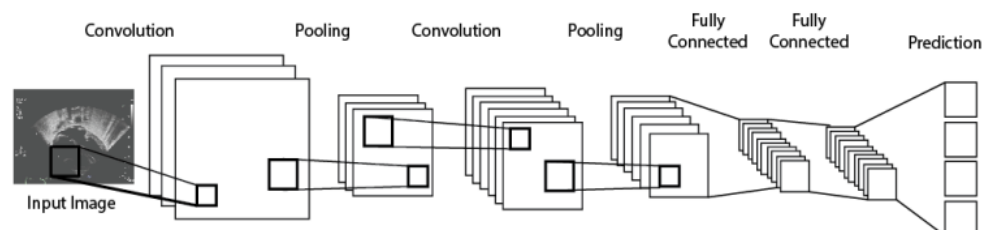
Deep learning adalah bagian dari *machine learning* yang merupakan bagian *artificial intelligence* karna dapat meniru kerja otak manusia. *Deep*

learning dapat mengenali pola dan informasi dari data yang tidak terstruktur atau tidak berlabel. Algoritma *Deep learning* terinspirasi dari struktur otak manusia. Struktur tersebut dinamakan *Artificial Neural Networks* atau disingkat ANN memungkinkan mesin untuk memproses dan menganalisis data yang lebih kompleks seperti pengenalan gambar, pengenalan suara, dan bahasa alami yang dipakai.

Deep learning adalah teknologi yang bekerja dengan menggunakan berbagai algoritma, di mana tidak ada algoritma yang dianggap sempurna karena masing-masing memiliki kapabilitas yang berbeda. Oleh karena itu, pengembang aplikasi harus memilih algoritma yang paling sesuai dengan kebutuhan mereka. Salah satu algoritmanya adalah *convolutional neural networks* (CNN) (Naf'an et al., 2020).

2.12 CNN (Convolutional Neural Network)

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu algoritma *Deep Learning* berjenis *neural network* yang terdiri atas beberapa lapisan dan seringkali digunakan dalam pemrosesan gambar dan deteksi objek. CNN hanya dapat digunakan pada data yang memiliki struktur data dua dimensi seperti citra atau suara, maka dari itu CNN banyak digunakan dalam identifikasi citra satelit, memproses citra medis, dan mendeteksi anomali (Naf'an et al., 2020). Berikut adalah gambaran arsitektur CNN



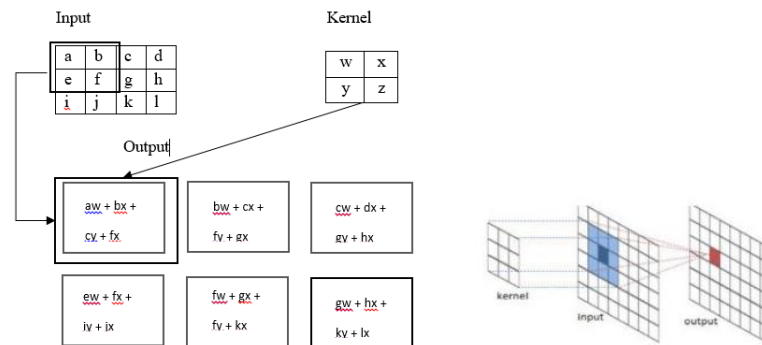
Gambar 5. Arsitektur CNN (Nurmaini et al., 2021)

Berdasarkan gambar di atas *Convolutional Neural Network* (CNN) terdiri dari 3 bagian yaitu convolutional layer, pooling layer, dan fully connected layer (Zhao & Kumar, 2017).

2.12.1 Convolutional Layer

Convolutional layer adalah salah satu komponen inti dalam jaringan saraf konvolusional (CNN). Lapisan ini berfungsi untuk mengekstrak fitur-fitur penting dari citra input. Proses ekstraksi fitur ini dilakukan melalui operasi konvolusi, yaitu mengalikan elemen-elemen pada suatu matriks kecil (kernel atau filter) dengan bagian-bagian dari citra input. Hasil dari operasi konvolusi ini kemudian akan diteruskan ke lapisan-lapisan berikutnya dalam jaringan saraf untuk pengolahan lebih lanjut (P et al., 2016).

Convolutional layer merupakan bangunan inti dari CNN menjadikan *convolutional layer* tempat terjadinya komputasi sebagian besar dilakukan. Pada lapisan ini terdapat filter dengan panjang dan tinggi (*pixels*) yang dibentuk oleh neuron yang tersusun secara teratur. Sebagai contoh dilakukan proses *convolutional layer* dengan ukuran 5 x 5 x 3. Tinggi 5 pixel, lebar 5 pixel, dan tebal 3 pixel sesuai dengan channel dari image tersebut. Hasil ketiga filter ini akan digeser keseluruhan bagian gambar. Setiap pergeseran akan dilakukan operasi “dot” antara *input* dan nilai dari filter tersebut sehingga menghasilkan sebuah *output* atau biasa disebut sebagai *activation map* (Nurmaini et al., 2021).



Gambar 6. Feature Map (Nurmaini et al., 2021)

a. *Stride*

Stride merupakan salah satu atribut pada proses *convolutional layer*. *Stride* adalah parameter yang berfungsi menjumlahkan pergeseran filter pada proses ini. Sebagai contoh jika *stride* bernilai 1, maka *convolutional filter* akan bergeser baik secara horizontal maupun vertikal sejumlah 1 *pixel*. Maka dari itu, semakin kecil *stride* semakin detail informasi yang dapat diambil dari sebuah inputan gambar, tetapi tentunya memiliki proses komputasi lebih lama disbanding dengan *stride* yang besar

b. *Padding*

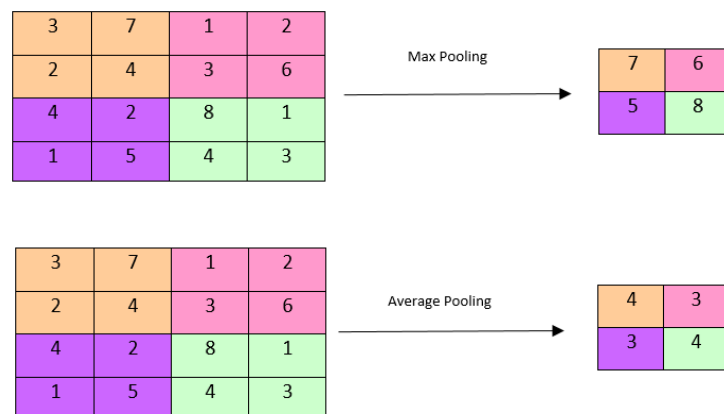
Padding atau dapat disebut juga *zero padding* berfungsi memanipulasi dimensi *output* dari *convolutional layer* (*feature map*). *Padding* adalah parameter untuk menentukan jumlah *pixel* yang berisi 0 agar ditambahkan pada setiap sisi dari *input*. Dengan tujuan menyesuaikan ukuran *output* gambar dengan inputan gambar (Nurmaini et al., 2021).

2.12.2 Pooling Layer

Pooling layer menjadi salah satu langkah penting lainnya dalam algoritma CNN. *Pooling layer* berfungsi mengurangi dimensi dari *feature map*

(*downsampling*) sehingga menghasilkan *feature map* yang baru dengan resolusi yang lebih padat guna menurunkan sumber daya komputasi ataupun mengontrol overfitting (Gholamalinezhad & Khosravi, 2020).

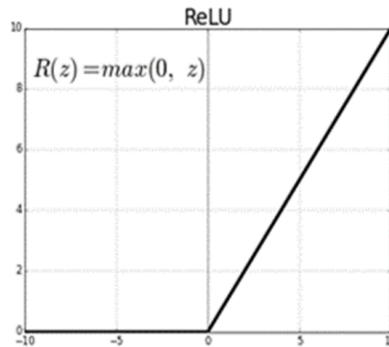
Terdapat dua teknik *pooling* yang dapat digunakan yaitu *max pooling* dan *average pooling*. Pada *max pooling* menggunakan nilai maksimum, sedangkan *average pooling* mengambil nilai rata-rata. Berikut gambar di bawah menunjukkan contoh *max pooling* dan *average pooling*.



Gambar 7. Pooling Layer

2.12.3 ReLU (Rectified Linear Units)

Rectified Linear Units (ReLU) layer merupakan fungsi aktivasi non-linier dengan mengaplikasikan fungsi $f(x) = \max(0, x)$ untuk meningkatkan sifat nonlinearitas fungsi keputusan dan jaringan secara keseluruhan tanpa mempengaruhi bidang-bidang reseptif pada convolutional layer.

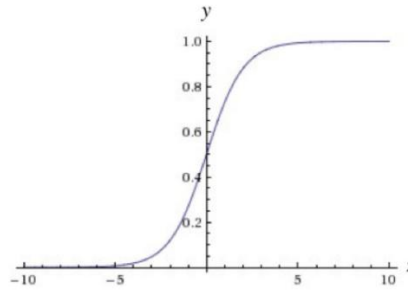


Gambar 8. Ilustrasi ReLU (Alifah et al., 2023)

Pada fungsi ini masukan dari neuron-neuron merupakan bilangan negatif, maka fungsi ini akan menerjemahkan nilai tersebut kedalam nilai 0 dan jika masukan bernilai positif maka output dari neuron adalah nilai aktivasi itu sendiri. Fungsi aktivasi ini memiliki kelebihan yaitu dapat mempercepat proses konfigurasi yang dilakukan dengan *Stochastic Gradient Descent* (SGD) jika dibandingkan dengan fungsi *sigmoid* dan *tanh* (Nathania, 2024). ReLU sendiri memiliki berbagai varian dalam YOLOv8 varian ReLU yang digunakan yaitu SiLU (Hussain, 2024).

a. SiLU (*Sigmoid Linear Units*)

SiLU (*Sigmoid Linear Units*) atau dikenal juga *swish* adalah varian lain dari ReLU yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 2018. SiLU terbilang lebih konsisten dibandingkan ReLU. Perbedaan SiLU dari ReLU biasa adalah dimana jika ReLU mendapat input negatif maka hasilnya 0, namun SiLU dapat menerima inputan berupa nilai negatif dan tidak pernah benar-benar nol (Hussain, 2024). SiLU merupakan pengembangan sigmoid maka dari itu dalam penggunaanya melibatkan fungsi sigmoid sebagai bagian rumusnya.



Gambar 9. Ilustrasi SiLU (Buduma, 2015)

Perhitungan pada fungsi SiLU dilakukan dengan mengalikan input dengan fungsi sigmoid, sehingga menyerupai ReLU yang bersifat kontinu dan “undershooting”. Secara matematis, fungsi SiLU dijelaskan sebagai berikut (Salma, et al., 2024).

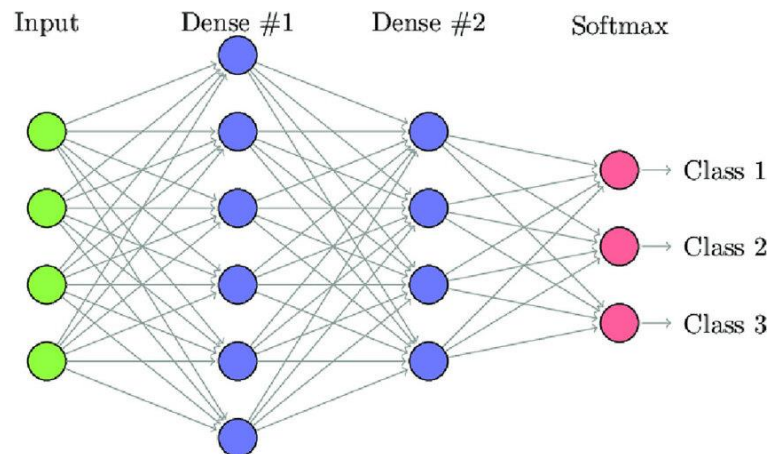
$$R_5(z) = \begin{cases} z, & \text{for } z > 0, \\ z\sigma(z), & \text{for } z \leq 0, \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana z merupakan input dan $\sigma(z)$ adalah fungsi sigmoid seperti pada yang didefinisikan berikut.

$$\sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \dots\dots\dots (2)$$

2.12.4 Fully Connected Layer

Lapisan *fully connecte layer* adalah lapisan tempat terjadinya transformasi pada dimesi data sehingga data dapat diklasifikasikan secara linear. Dengan menggunakan komputasi perkalian matriks yang diikuti dengan bias *offset*, hasil lapisan ini dapat diperoleh tanpa operasi konvolusi. Dengan melakukan operasi ini, setiap neuron memiliki akses penuh ke semua aktivasi dalam lpisan sebelumnya (Alwanda et al., 2020).



Gambar 10. Fully Connected Layer (Aabidi et al., 2023)

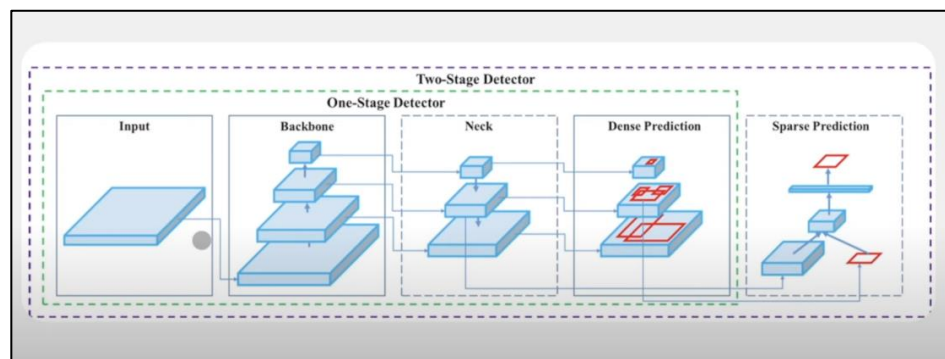
Gambar diatas menjelaskan di layer pertama memiliki 3 unit fitur dan 4 unit aktivasi di hidden layer berikutnya. Angka satu di setiap lapisan adalah unit bias, a01, a02, dan a03 adalah nilai input ke jaringan syaraf. Kemudian empat unit aktivasi hidden layer pertama terhubung kesemua tiga unit aktivasi hidden layer kedua parameter menghubungkan kedua layer (Sari, 2022).

Dalam melatih *connected layer* pada *neural network* dibutuhkan metode klasifikasi yang baik salah satunya adalah *backpropagation*. *Backpropagation* bekerja dengan mengalirkan gradient loss dari output ke input melalui layer-layer. *Backpropagation* terdiri dari dua langkah yaitu *feedforward* dan *backward*. *Feedforward* menerima informasi dari *input* dan diteruskan informasi tersebut ke *hidden layer*. Sedangkan *backward* bekerja memperbarui bobot dan bias (Maharani et al., 2022).

2.13 YOLO (You only look once)

YOLO (*You Only Look Once*) termasuk dalam algoritma *machine learning* untuk mendeteksi objek yang menggunakan pendekatan berbeda dari algoritma lain . YOLO (*You Only Look Once*) berbasis *convolutional neural network* (CNN) dengan fungsi sebagai pendeteksian objek secara

real-time pada citra yang banyak. Algoritma YOLO menerapkan sebuah jaringan syaraf tiruan yang dilatih *end-to-end* pada keseluruhan citra, sehingga model dapat melakukan deteksi objek langsung dari data *training* dan melakukan analisis secara global terhadap seluruh gambar dan semua objek pada citra tanpa memerlukan pemrosesan lanjutan yang dibuat oleh manusia (Redmon et al., 2016).

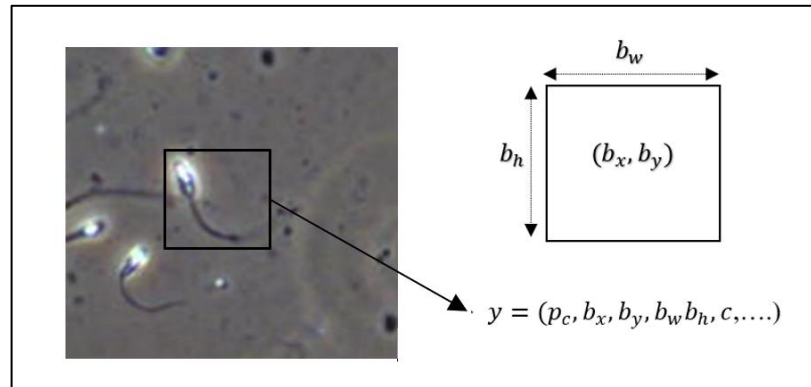


Gambar 11. Arsitektur Metode Yolo (Nathania, 2024)

Pada metode *you only look once* (YOLO) terdapat 3 bagian utama diantaranya.

1. **Backbone** : Pada model YOLO *backbone* berguna untuk meningkatkan akurasi sebelum dilakukan pendeteksian di bagian *head*. Bagian ini terdiri dari beberapa lapisan konvolusi dan lapisan pengelompokan (*pooling*) yang bertujuan untuk mengekstraksi fitur-fitur dari gambar.
2. **Neck** : Bagian ini adalah perpanjangan dari backbone yang terdiri dari beberapa lapisan konvolusi, *neck* bekerja setelah fitur-fitur diekstraksi melalui *backbone*. Fitur-fitur yang diperoleh dari beberapa tahap *backbone* ini digabungkan dan dicampur di leher (*Neck*).
3. **Head** : *Head* bertanggung jawab memberikan output jaringan. Setelah fitur-fitur digabungkan di leher, fitur-fitur ini dilewatkan ke kepala jaringan, di mana YOLO memprediksi lokasi dan kelas objek di sekitar bounding box yang harus digambar. Kepala ini terdiri dari beberapa

lapisan konvolusi dan bertujuan untuk memprediksi lokasi dan kelas objek. (Nathania, 2024).

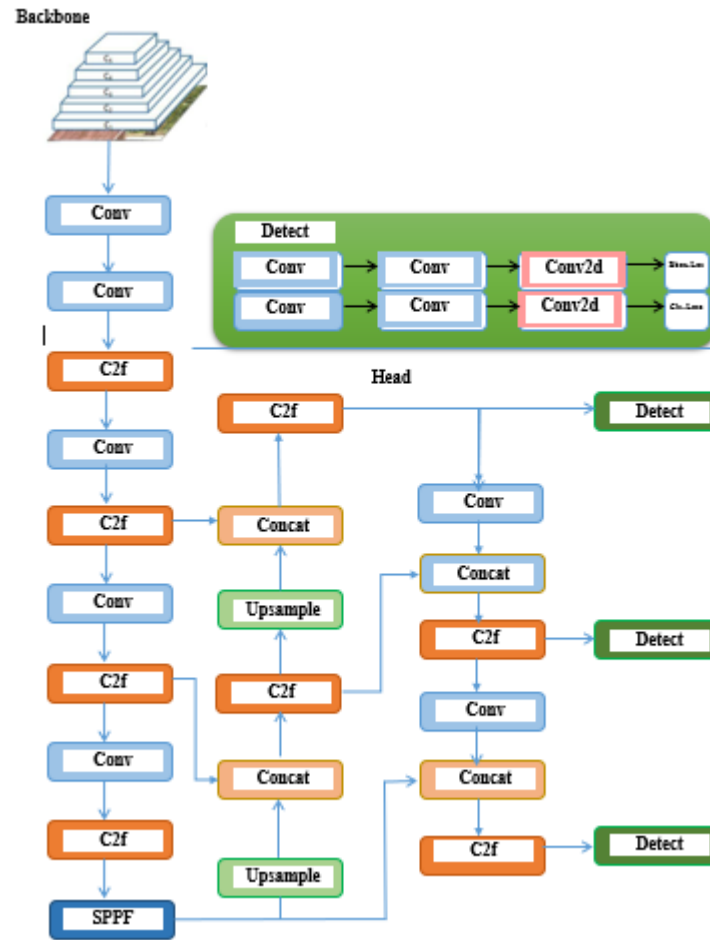


Gambar 12. Komponen Bounding Box (VISEM Dataset)

Dalam metode YOLO terdapat teknik bounding box yang digunakan untuk menandai lokasi objek pada gambar dengan menggambarkan persegi pada area objek gambar tersebut. Komponen pada bounding box tersebut seperti pada gambar yaitu B_x dan B_y yang bertindak sebagai titik tengah objek serta B_w dan B_h yang bertindak sebagai jarak sisi objek pada gambar. Bounding box digunakan untuk menggabungkan area objek yang diajukan atau anchor box sesuai dengan target objek yang telah didefinisikan sebelumnya pada kelas objek tertentu (Aini et al., 2021).

2.13.1 *You only look one* versi 8 (YOLOv8)

YOLOv8 adalah salah satu algoritma deteksi objek canggih yang dimiliki oleh metode YOLO. Arsitektur YOLOv8 adalah evolusi dari YOLOv7 dengan kelebihan peningkatan performa dan akurasi yang lebih tinggi. Hal tersebut menjadikan algoritma *machine learning* ini dapat diterapkan dalam aplikasi real-time karena lebih mudah diimplementasikan dan lebih cepat dalam melakukan deteksi objek. Arsitektur YOLO v8 terdiri dari Backbone (Feature Pyramid Network), Neck (Cross-Layer Connection), dan Head (Lapisan YOLO).



Gambar 13. Arsitektur YOLOv8 (Yanto et al., 2023)

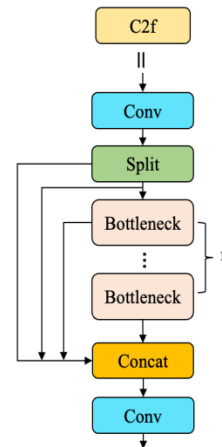
Arsitektur YOLOv8 pada gambar di atas memiliki jaringan tulang punggung (*backbone network*), leher (*neck*), dan kepala (*head*). *Backbone network* menggunakan *Feature Pyramid Network* (FPN) untuk mengekstraksi fitur dari gambar *input*, sedangkan *neck* menggunakan serangkaian *Cross-Layer Connection* (CLC) untuk menyempurnakan fitur ini. *Head* mengambil fitur yang disempurnakan dan memprediksi *bounding box*, *confidence scores* dan akurasi untuk setiap objek dalam citra (Yanto et al., 2023).

a. *Anchor-Free*

Anchor-free merupakan pengembangan dari teknik *anchor-based* pada YOLO versi sebelumnya. *Anchor-based* merupakan model yang memprediksi objek dari kotak jangkar (*anchor box*). Sedangkan *Anchor-free* teknik yang diperkenalkan pada penggunaan YOLOv8 lebih efisien dan sederhana karena model memprediksi tanpa kotak jangkar (*anchor box*) (Yanto et al., 2023). Selain itu keefisienan dari *anchor-free* lainnya yaitu memberikan feature map yang lebih besar dan jaringan konvolusi yang lebih efisien, sehingga mengurangi waktu pelatihan dan risiko overfitting (Manurung et al., 2024).

b. C2F

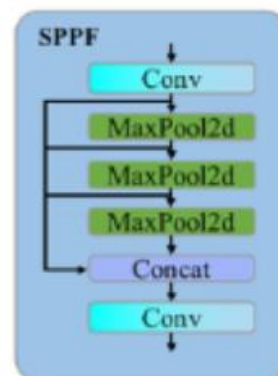
C2F merupakan konvolusi baru dari YOLOv8. Konvolusi awal yang menggunakan kernel berukuran 6x6 diubah menjadi kernel lebih kecil dengan ukuran 3x3 dengan tujuan mengurangi jumlah parameter dan perhitungan, sehingga model menjadi lebih efisien. C2f juga merupakan blok penyusun utama, lalu C2f diganti C3 merujuk pada jenis blok tertentu dalam arsitektur. Perbedaan keduanya ialah pada C2f, semua output dari blok Bottleneck digabungkan, sedangkan pada C3 hanya output dari Bottleneck terakhir yang digunakan. Perubahan ini dapat mempengaruhi cara informasi dari lapisan sebelumnya diperbanyak ke lapisan berikutnya (Yanto et al., 2023).



Gambar 14. Arsitektur C2F

c. SPPF (*Spatial Pyramid Pooling Fast*)

SPPF merupakan versi optimal dari *spatial pyramid pooling* (SPP). *Spatial pyramid pooling* merupakan modul yang digunakan dalam mengekstraksi fitur dari gambar dengan menggabungkan informasi dari berbagai skala baik fitur local maupun fitur global. *Spatial pyramid pooling fast* memiliki kerja yang sama dengan *spatial pyramid pooling* tetapi SPPF memiliki kecepatan deteksi yang lebih efisien dibanding *spatial pyramid pooling*. Maka dari itu SPPF cocok untuk aplikasi *real-time* (Xiujuan et al., 2024).



Gambar 15. Arsitektur SPPF

d. *Non-Maximum Suppression*

Non-Maximum Suppression atau bisa disingkat NMS adalah salah satu teknik utama yang digunakan di dalam model YOLO. NMS bekerja dengan cara menghilangkan *bounding box* dengan skor kepercayaan yang rendah dan mempertahankan *bounding box* dengan skor kepercayaan yang tinggi. Adapula kemungkinan *bounding box* mengalami tumpang tindih atau terletak di posisi berbeda, tetapi semuanya mewakili objek yang sama. Jika hal tersebut terjadi NMS akan mengidentifikasi dan menghapus *bounding box* yang berlebihan atau salah tersebut, sehingga hanya mengeluarkan satu *bounding box* untuk setiap objek dalam citra (Yanto et al., 2023).

2.14 Region of Interest (ROI)

Region of Interest (ROI) adalah bagian tertentu dari citra digital yang dipilih untuk diproses dan dianalisis. ROI digunakan untuk menandai objek yang bergerak serta memungkinkan analisis tekstur pada area yang telah diseleksi atau dianggap penting. Dalam deteksi objek, ROI ditempatkan pada area spesifik, seperti jalan yang dilewati kendaraan, sehingga kendaraan yang melintasi wilayah tersebut dapat terdeteksi tanpa harus memisahkan ROI dari frame aslinya (Pratomo et al., 2020). Selain itu, ROI memungkinkan pengkodean berbeda pada area tertentu dalam citra digital, meningkatkan kualitas pada bagian yang dianggap lebih penting dibandingkan area sekitarnya (Daya et al., 2023).

2.15 Confussion Matrix

Confusion matrix adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengukur kinerja suatu metode klasifikasi. Pada pengukuran kinerja menggunakan *confusion matrix* biasanya berbentuk tabel, terdapat 4 (empat) istilah sebagai representasi hasil proses klasifikasi. Keempat

istilah tersebut adalah True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP) dan False Negative (FN). Nilai True Negative (TN) merupakan jumlah data negatif yang terdeteksi dengan benar, sedangkan False Positive (FP) merupakan data negatif namun terdeteksi sebagai data positif (Karsito & Susanti, 2019).

Tabel 2. Kategori Prediksi Model pada Confussion Matrix

Predicted \ Actual	Positif	Negatif
Positif	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>
Negatif	<i>False Positive</i>	<i>True Negative</i>

Keterangan :

True Positive(TP) = Prediksi positif dan data yang sebenarnya positif.

False Negative(FN) = Prediksi negatif dan data yang sebenarnya positif.

False Positive(FP) = Prediksi positif dan data yang sebenarnya negatif.

True Negative(TN) = Prediksi negtaif dan data yang sebenarnya negatif.

Dalam buku (Widodo, 2022) menjelaskan evaluasi *classification report* yang berisikan empat metrik evaluasi yaitu.

a. Presisi

Presisi merupakan rasio dari prediksi *true positive* terhadap total keseluruhan prediksi kasus yang bernilai *positive*. Semakin tinggi nilai presisi maka kejadian *false positive* juga rendah. Persamaan presisi dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\%..... (3)$$

b. Recall

Recall merupakan rasio prediksi *true positive* atau bernilai benar terhadap total kasus positif actual. *Recall* dihitung dengan cara membagi jumlah prediksi *true positive* (TP) dengan jumlah sampel yang bernilai benar. Persamaan *recall* dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

c. F1-Score

F1 Score adalah suatu perbandingan rata-rata harmonik dari precision dan recall. F1-Score memiliki nilai tertinggi sebesar 1 dan terendah sebesar 0. Nilai F1 Score ini semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa kinerja sistem telah baik. Persamaan F1 Score dapat dilihat pada Persamaan berikut.

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Recall \times Presisi}{Recall + Presisi} \dots\dots\dots (5)$$

2.16 Mean Average Precision (mAP)

Mean average precision (mAP) adalah nilai rata-rata dari average precision yang dihitung dari semua nilai precision yang relevan, dengan nilai 0 untuk item yang tidak dideteksi oleh system. Nilai mAP digunakan untuk evaluasi model dengan menunjukkan kemampuan sistem untuk mendeteksi setiap kelas item. Nilai mAP dihitung dari sejumlah nilai AP yang telah terdeteksi (Fandisyah et al., 2021).

2.17 Absolute Count Difference

Absolute count difference adalah konsep untuk mengukur antara jumlah objek aktual dengan jumlah objek yang terdeteksi oleh model. Nilai dari *absolute count difference* didapatkan dengan cara mengurangi jumlah objek *class* tersebut yang aktual dengan yang diprediksi model. Semakin

kecil perbedaan maka semakin baik juga model dalam mendeteksi dan menghitung jumlah objek pada tiap class.

2.18 Hyperparameter Tuning

Hyperparameter tuning merupakan proses mencari kombinasi terbaik dari parameter yang ditentukan sebelum *training* model dijalankan agar kinerjanya lebih optimal. Pemilihan *hyperparameter* yang tepat juga dapat membuat model lebih akurat dan menghindari masalah seperti *overfitting* maupun *underfitting*. Dalam *deep learning* terdapat beberapa contoh *hyperparameter* yang penting contohnya ada *learning rate*, *scale*, dan *momentum*. Metode yang umum digunakan dalam *hyperparameter* salah satunya adalah *optimizer* AdamW (Bergstra & Bengio, 2012).

Optimizer AdamW adalah varian algoritma optimisasi adam yang dirancang untuk meningkatkan generalisasi model dengan memisahkan *weight decay* dari pembaruan gradien. *Optimizer* ini sering digunakan sebagai alternatif dari *optimizer default*. Memiliki momentum dan *scale default* sejumlah 0.937 untuk momentum dan *scale* yaitu 0.5 (Bhosale, 2024).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Lab. Komputasi dasar Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang beralamat di Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung.

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester ganjil sampai semester genap dengan perkiraan waktu bulan September 2024 - Februari 2025. Tabel 3 dibawah merupakan tabel dari jadwal kegiatan yang akan dilakukan.

3.2 Alat Pendukung

Alat pendukung yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

a. Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Laptop : Lenovo ThinkPad X270
2. *Processor* : Intel (R) Core(TM) i5-7300U
2. Penyimpanan : SSD 512GB
3. RAM : 16 GB.
4. GPU : Intel (R) HD Graphics 620.

Tabel 3. Jadwal Kegiatan

NO	Jadwal Kegiatan	BULAN PELAKSANAAN PENELITIAN 2024/2025						
		September	Oktober	November	Desember	Januari	Februari	Maret
1.	Penulisan Bab 1-3							
2.	Pengumpulan Data							
3.	Pre-Processing Data							
4.	Pembagian data latih & data uji							
5.	Seminar Usul							
6.	Training model YOLO							
7.	Analisis dan evaluasi hasil							
8.	Penulisan Laporan Bab 4-5							
9.	Seminar Hasil Penelitian							

b. Perangkat Lunak (Software)

Perangkat lunak yang digunakan dalam proses penelitian ini yaitu:

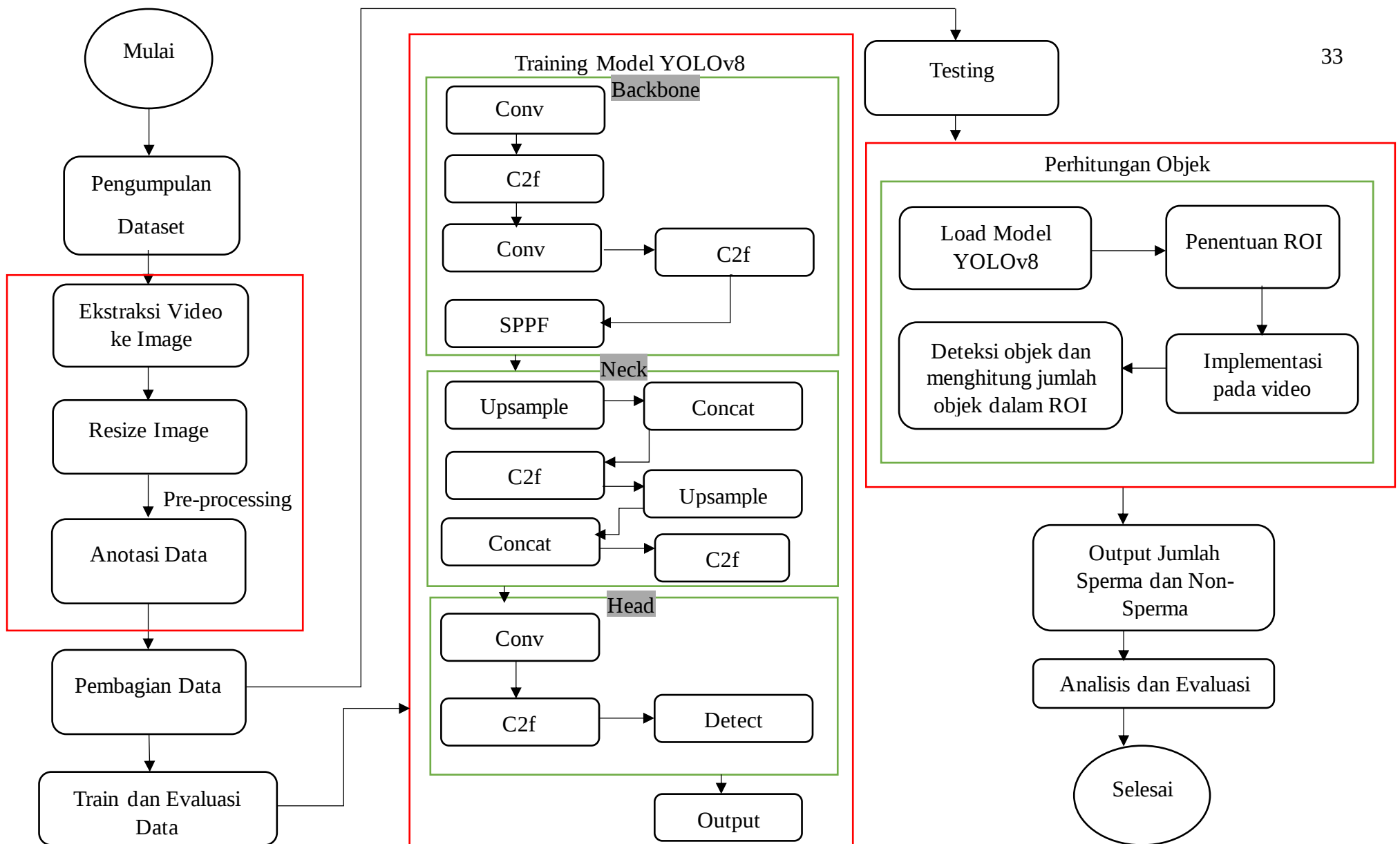
1. Sistem Operasi *windows 10 Pro 64-bit*
2. *Visual Studio Code* versi 1.90.0.0
3. *Python* versi 3.9.0
4. *Google Colab*
5. *Library OpenCV*
6. YOLOv8

3.3 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dapat dilihat pada penjelasan berikut

3.3.1 Pengumpulan Dataset

Dataset pada penelitian ini diperoleh dari open dataset <https://datasets.simula.no/visem/>. Dataset VISEM terdiri atas 85 video yang berisikan data dari 85 peserta laki-laki berusia 18 tahun ke atas. Kumpulan data ini berisi lebih dari 35 gigabyte video, dengan setiap video berdurasi antara dua hingga tujuh menit. Dataset yang digunakan berupa 2 kelas yaitu sperma dan non sperma.



Gambar 16. Alur Tahapan Penelitian

3.3.2 Pre-processing

Peneliti dalam melakukan *pre-processing* akan melakukan dua tahap sebelum diberikan pendeteksian kelas, yaitu :

a. Ekstraksi Video ke Citra

Ekstraksi video ke citra merupakan tahap pertama *pre-processing* penelitian ini. Dimana data video sperma yang ada pada VISEM akan di pecah menjadi frame-frame citra. Dengan *image* yang dihasilkan dari 85 video rekaman tersebut berikutnya akan diolah lebih lanjut untuk melakukan proses *resize image*.

b. Resize Image

Pada tahap ini akan dilakukan pengukuran pada data citra 640 x 480 *pixel* yang telah di ekstraksi. Ini dilakukan untuk mengubah ukuran citra menjadi 640 x 640 *pixel*, sehingga setiap data memiliki ukuran yang sama. *Resize Image* berguna untuk memastikan kualitas data dan membuat data lebih siap untuk diolah ke proses selanjutnya.

c. Anotasi Data

Pada proses ini, setelah data citra kelas telah diselesaikan dalam tahap *pre-processing*, tahap Anotasi data atau *bounding box* dimulai, yang merupakan proses menandai kelas pada citra yang ingin dikenali. Hal ini dilakukan untuk membantu komputer mengidentifikasi objek dan memberi label kelas pada data citra sperma dan non sperma yang telah di *pre-processing* sebelumnya. Pada proses anotasi ini akan dilakukan dengan menggunakan Labelling-master yang bersumber dari github <https://github.com/HumanSignal/labelImg>.

3.3.3 Pembagian Data

Pembagian dataset pada penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian diantaranya data latih, data validasi, dan data uji. Data latih adalah sekumpulan data yang digunakan untuk melatih model, data validasi adalah data yang akan digunakan untuk validasi proses training mode.

Sedangkan data uji adalah sekumpulan data yang akan diuji pada model di penelitian ini.

3.3.4 Training Data

Pada penelitian ini data yang telah melalui tahapan *preprocessing* atau telah mendapatkan anotasi pada setiap citra digunakan untuk melatih model YOLOv8 dalam klasifikasi objek pada data sperma tersebut. Dimana model YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi objek tersebut. Bagian *backbone* bekerja untuk ekstraksi fitur dari gambar, *neck* menggabungkan fitur dengan skala berbeda atau mengolah informasi lebih lanjut, *head* memprediksi objek dan lokasinya. Setelahnya didapati salah satu *output* berupa *best.pt* yg nantinya file ini akan digunakan dalam proses penelitian selanjutnya.

3.3.5 Perhitungan Objek

Pada tahapan ini proses dimulai dengan memuat model YOLOv8 hasil trainingnya berupa *best.pt*. Berikutnya model ini diimplementasikan pada video yang akan dianalisis serta menentukan ROI (*Region of Interest*) atau area spesifik dalam video yang menjadi fokus perhitungan. Setelah ROI ditentukan didapati output berupa video dimana model YOLOv8 bekerja untuk mendeteksi objek dan menghitung jumlah objek yang terdeteksi di dalam ROI.

3.4 Evaluasi

Proses evaluasi dilakukan untuk mengetahui hasil akurasi atau kinerja model dalam mendeteksi tingkat keberhasilan pada aspek identifikasi dan perhitungan jumlah sperma dan non sperma. Dalam melakukan pengujian dan analisis penggunaan model YOLOv8 untuk identifikasi dan perhitungan jumlah sperma dan non sperma akan menggunakan metode mAP (*mean Average Precision*) untuk mengukur akurasi deteksi dari obyek yang telah diidentifikasi.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Penelitian ini berhasil mengimplementasikan model YOLOv8 untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan pada dua kelas yaitu sperma dan non-sperma berdasarkan morfologi. Model ini mampu melakukan klasifikasi tersebut secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik.
2. Pada penelitian ini terdapat 6 skenario dalam proses pembelajaran model. Dengan menggunakan 3 *epoch* yang masing masing dicoba dengan 2 *learning rate* yang berbeda yaitu 0.002 dan 0.0002, penggunaan *learning rate* 0.002 memiliki nilai mAP lebih tinggi dibanding 0.0002. Nilai mAP tertinggi yaitu 74.2%, dicapai pada *epoch* 90 dan 140 dengan *learning rate* 0.002. Evaluasi kinerja menunjukkan skenario terbaik adalah *epoch* 120 *learning rate* 0.002, menghasilkan mAP 74%, precision 71.90%, recall 72%, dan F1-score 77.20%. Selain itu, grafik hasil training juga mengonfirmasi bahwa skenario ini memiliki performa terbaik dibandingkan lima skenario lainnya.
3. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, implementasi YOLOv8 dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan sperma dan non-sperma menunjukkan performa yang cukup baik. Akurasi deteksi sperma berkisar antara 84.99% hingga 96.29%, yang menunjukkan bahwa model memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dalam mendeteksi objek sperma. Namun, akurasi deteksi non-sperma lebih rendah, berkisar antara 43.13% hingga 58.48%. Rata-rata akurasi

4. keseluruhan untuk lima video yang diuji adalah 70.40%. Nilai minimum jumlah objek yang terdeteksi adalah 112.873, sementara nilai maksimum adalah 1.126.765. Faktor yang memengaruhi akurasi deteksi meliputi kualitas gambar, pencahayaan, serta kemungkinan adanya objek lain yang menyerupai non-sperma atau sperma. Model ini masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi non-sperma, yang kemungkinan disebabkan oleh kemiripan karakteristik morfologi dengan latar belakang lainnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan saran untuk melanjutkan penelitian ini yaitu:

1. Menambah jumlah varian kelas pada objek ataupun dataset yang digunakan untuk meningkatkan generalisasi model dalam mendeteksi sperma dan non-sperma dengan berbagai bentuk morfologi yang lebih kompleks.
2. Meskipun model telah menunjukkan performa yang cukup baik, eksplorasi lebih lanjut terhadap hyperparameter seperti learning rate, batch size, dan momentum dapat dilakukan untuk memperoleh hasil yang lebih optimal.
3. Mengintegrasikan YOLOv8 dengan metode tracking seperti SORT atau ByteTrack dapat meningkatkan analisis pergerakan sperma dan non-sperma dalam video dengan lebih akurat dan konsisten. Teknik ini memungkinkan pelacakan kontinu, mengurangi duplikasi deteksi, serta membantu perhitungan jumlah objek secara lebih tepat.
4. Hasil penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem berbasis website yang memungkinkan pengguna mengunggah video sperma untuk dianalisis secara otomatis. Dengan demikian, proses klasifikasi dan perhitungan jumlah sperma dan non-sperma dapat dilakukan dengan lebih mudah, cepat, dan praktis. Pengembangan ini juga dapat memberikan akses yang lebih luas bagi peneliti atau praktisi

yang ingin memanfaatkan teknologi ini tanpa perlu menginstal perangkat lunak khusus.

DAFTAR PUSTAKA

- A, S. G. (2022). *The Review of Artificial Intelligence in Cyber Security*. 10(1), 1461–1468.
- Aabidi, M. H., Zaimi, I., & Slimane, S. M. (2023). *Online and Biomedical Engineering*. 19(12), 127–143.
- Aini, Q., Lutfiani, N., Kusumah, H., & Zahran, M. S. (2021). *DETEKSI DAN PENGENALAN OBJEK DENGAN MODEL MACHINE LEARNING : MODEL YOLO*. 6(2), 192–199.
- Alwanda, M. R., Putra, R., Ramadhan, K., & Alamsyah, D. (2020). *Implementasi Metode Convolutional Neural Network Menggunakan Arsitektur LeNet-5 untuk Pengenalan Doodle*. 1(1), 13.
- Arieska, P. K., Herdiani, N., Sampling, S., & Relatif, E. (2018). *Pemilihan Teknik Sampling Berdasarkan Perhitungan Efisiensi Relatif*. 6(2), 166–171.
- Aristoteles, Syarif, A., Sutyarso, Lumbanraja, F. R., & Hidayatullah, A. (2022). Identification of Human Sperm based on Morphology Using the You Only Look Once Version 4 Algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(7), 424–431.
- Bariyah, T., Rasyidi, M. A., & Ngatini, N. (2021). Convolutional Neural Network untuk Metode Klasifikasi Multi-Label pada Motif Batik. *Techno.Com*, 20(1), 155–165. <https://doi.org/10.33633/tc.v20i1.4224>
- Bergstra, J., & Bengio, Y. (2012). Random Search for Hyper-Parameter Optimization James. *ACM International Conference Proceeding Series*, 13, 281–305.
- Bhosale, M. M. (2024). *Performance Analysis of Momentum of Adam Optimizer on YOLO-V8 Using Traffic Object Dataset Performance Analysis of Momentum of Adam Optimizer on YOLO-V8 Using Traffic Object*.
- Buduma, N. (2015). *Fundamentals of Deep Learning*. O'Reilly Media.
- Daya, B., Asmara, Y., Wulaningrum, R., & Helilintar, R. (2023). Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi) 1248 Implementasi Region of Interest (ROI) Untuk Segmentasi Citra Tanda Tangan. *Agustus*, 7, 2549–7952.
- Dobrovolny, M., Benes, J., Langer, J., Krejcar, O., & Selamat, A. (2023). Study on Sperm-Cell Detection Using YOLOv5 Architecture with Labeled Dataset. *Genes*, 14(2), 14.
- Elavarasu, M., & Govindaraju, K. (2024). Unveiling the Advancements: YOLOv7 vs YOLOv8 in Pulmonary Carcinoma Detection. *Journal of Robotics and*

- Control (JRC)*, 5(2), 459–470.
- Fandisyah, A. F., Iriawan, N., & Winahju, W. S. (2021). Deteksi Kapal di Laut Indonesia Menggunakan YOLOv3. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 10(1), 25–32.
- Gatimel, N., Moreau, J., Parinaud, J., & Léandri, R. D. (2017). Sperm morphology: assessment, pathophysiology, clinical relevance, and state of the art in 2017. *Andrology*, 5(5), 845–862.
- Gholamalinezhad, H., & Khosravi, H. (2020). *Pooling Methods in Deep Neural Networks , a Review*. 16.
- Hidayatullah, P., Mengko, T. L. E. R., & Munir, R. (2017). *A Survey on Multisperm Tracking for Sperm Motility Measurement*. 7(5), 144–151.
- Hussain, M. (2024). *YOLO V 5 , YOLO V 8 AND YOLO V 10 : T H E G O -T O D ETECTORS FOR R EAL - T I M E V I S I O N*. 1–12.
- Jácome-Galarza, L. R., Realpe-Robalino, M. A., Chamba-Eras, L. A., Viñán-Ludeña, M. S., & Sinche-Freire, J. F. (2020). Computer Vision for Image Understanding: A Comprehensive Review. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1066(September 2020), 248–259. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32022-5_24
- Kamisna, S., Fahira, Yulis, S., Fitri, N., Mulyadi, & Hidayat, M. (2022). Identifikasi Jenis Tumbuhan Bawah Di Kebun Kopi Desa Toeren Antara Kabupaten Aceh Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2022*, 10(1), 77–82.
- Karyadi, B. (2023). Pemanfaatan Kecerdasan Buatan Dalam Mendukung Pembelajaran Mandiri. *Educate: Jurnal Teknologi Pendidikan*, 8(2), 253–258.
- Li, Y., Lu, T., Wu, Z., Wang, Z., Yu, T., Wang, H., Tang, C., & Zhou, Y. (2023). *Trends in sperm quality by computer-assisted sperm analysis of 49 , 189 men during 2015 – 2021 in a fertility center from China*. July, 1–14.
- Madenda, S. (2015). *Pengolahan Citra dan Video Digital*. Erlangga.
- Maharani, A. A. S. M. K., Saputra, K. O., & Wirastuti, N. M. A. E. D. (2022). *Komparasi Metode Backpropagation Neural Network dan Convolutional Neural Network Pada Pengenalan Pola Tulisan Tangan*. 6(1), 56–63.
- Mahesh, B. (2020). *Machine Learning Algorithms - A Review*. 9(1), 381–386.
- Manurung, D. G., Pinasthika, M. R., Vasya, M. A. O., Putri, R. A. D. S., Tampubolon, A. P., Prayata, R. F., Nisa, S. K., & Yudistira, N. (2024). Deteksi Dan Klasifikasi Hama Potato Beetle Pada Tanaman Kentang Menggunakan YOLOV8. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 11(4), 723–734. <https://doi.org/10.25126/jtiik.1148092>
- Mazzilli, R., Rucci, C., Cimadomo, A. V. D., & Foresta, F. M. U. C. (2023). Male

- factor infertility and assisted reproductive technologies : indications , minimum access criteria and outcomes. *Journal of Endocrinological Investigation*, 46(6), 1079–1085.
- Naf'an, E., Islami, F., & Gusheimi. (2020). *Dasar Dasar Deep Learning dan Contoh Aplikasinya*. Mitra Cendekia Media.
- Nathania, N. (2024). ANALISIS PERBANDINGAN AKURASI METODE YOLOv5 DAN YOLOv7 PADA IDENTIFIKASI SPERMA MANUSIA BERDASARKAN MORFOLOGI. *Skripsi*.
- Nguyen, B., Nguyen, V., & Tran, M. (2023). *Transparent Tracking of Spermatozoa with YOLOv8*. 3658.
- Nurmaini, S., Darmawahyuni, A., Sapitri, A. I., Rachmatullah, M. N., Firdaus, & Tutuko, B. (2021). *Pengenalan Deep Learning dan Implemen*. Universitas Sriwijaya.
- Nusman, B., Rahman, A. Y., Putera, R. P., Malang, U. W., Technology, C., & Brawijaya, U. (2024). *LOBSTER AGE DETECTION USING DIGITAL VIDEO-BASED YOLO V8*. 5(4), 1155–1163.
- P, I. W. S. E., Wijaya, A. Y., & Soelaiman, R. (2016). *Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Network (Cnn) pada Caltech 101*. 5(1), 65–69.
- Pratomo, A. H., Kaswidjanti, W., & Mu'arifah, S. (2020). Implementasi Algoritma Region of Interest (Roi) Untuk Meningkatkan Performa Algoritma Deteksi Dan Klasifikasi Kendaraan Implementation of Region of Interest (Roi) Algorithm To Improve Car Detection and Classification Algorithm. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 7(1), 155–162.
- Priyansi, Bhattacharjee, B., & Rahim, J. (2021). *Predicting Semen Motility using three-dimensional Convolutional Neural Networks*. 1–8.
- Ratna, S. (2020). Pengolahan Citra Digital Dan Histogram Dengan Phyton Dan Text Editor Phycharm. *Technologia: Jurnal Ilmiah*, 11(3), 181–186.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. 10.
- Sari, Y. (2022). KLASIFIKASI JENIS KELAMIN MENGGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) DENGAN DATA WAJAH MANUSIA. *Skripsi*.
- Sarjani, T., & Mawardi. (2017). *IDENTIFIKASI MORFOLOGI DAN ANATOMI TIPE STOMATA FAMILI Piperaceae*. 182–191.
- Shari, A. (2022). Seleksi Spermatozoa Pada Fertilisasi In Vitro (IVF). *Indonesian Journal of Health Science*, 2(1), 1–8.
- Sianturi, M. C., Telaumbanua, F., & ... (2020). *Pengamanan Citra Digital Dengan*

Algoritma Paillier CRYPTOSYSTEM. 405–408.

Susilaswati, Y., & Sugandi, K. M. (2018). Student's Skills on Identifying Plants at Universitas Majalengka Environment as Competency of Plant Morphology Subjects. *Bioedusiana* 29, 3(1), 29–37.

Susilawati, T. (2019). Spermatology. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 1).
http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI

Taurat Afiati, Ani Wafiroh, & Muhamad Saleh Sofyan. (2022). UPAYA PASANGAN SUAMI ISTRI TIDAK MEMILIKI KETURUNAN DALAM MEMPERTAHANKAN KEHARMONISAN RUMAH TANGGA (Studi Kasus di Desa Siru Kabupaten Manggarai Barat NTT). *Al-IHKAM: Jurnal Hukum Keluarga Jurusan Ahwal Al-Syakhshiyah Fakultas Syariah IAIN Mataram*, 14(2), 161–184.

Wibawa, A. P., Guntur, M., Purnama, A., Fathony Akbar, M., & Dwiyanto, F. A. (2018). Metode-metode Klasifikasi. *Prosiding Seminar Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 3(1), 134–138.

Widodo, R. B. (2022). *Machine Learning Metode k-Nearest Neighbors-Klasifikasi Angka Bahasa Isyarat*. Media Nusa Creative.

Xiuhuan, D., Shixin, L., & Jixiang, Z. (2024). YOLOV5s object detection based on Sim SPPF hybrid. 20(6), 5.

Yanto, Aziz, F., & Irmawati. (2023). YOLO-V8 PENINGKATAN ALGORITMA UNTUK DETEKSI. 7(3), 1437–1444.

Zhang, C., Zhang, Y., Chang, Z., & Li, C. (2024). Sperm YOLOv8E-TrackEVD: A Novel Approach for Sperm Detection and Tracking. *Sensors*, 24(11), 29.