**PRA-SKRIPSI**

**EKSPLORASI MEKANISME ATTENTION CBAM UNTUK OPTIMASI PERFORMA RESNET-18 PADA DATASET TINY-IMAGENET**

**IQBAL BAGUS SATRIAWAN**

NPM 22081010118

**DOSEN PEMBIMBING**

-

-

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR**

**FAKULTAS ILMU KOMPUTER**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA**

**SURABAYA**

**2025**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

**EKSPLORASI MEKANISME ATTENTION CBAM UNTUK OPTIMASI PERFORMA RESNET-18 PADA DATASET TINY-IMAGENET**

Oleh :

IQBAL BAGUS SATRIAWAN

NPM. 22081010118

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi xxxxxxx Fakulktas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada tanggal...............................................

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| -  NIP. xxxxxxxx xxxxxx x xxx | …………………… | (Pembimbing I) |
| -  NIP. xxxxxxxx xxxxxx x xxx | …………………… | (Pembimbing II) |
| Nama Dosen  NIP/NPT | …………………… | (Pembimbing III)  *(Opsional/Tambahan)* |
| Nama Dosen  NIP/NPT | …………………… | (Ketua Penguji) |
| Nama Dosen  NIP/NPT | …………………… | (Penguji I) |
|  | Mengetahui,  Dekan Fakultas Ilmu Komputer  Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT  NIP. 19681126 199403 2 001 | |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : IQBAL BAGUS SATRIAWAN

Program Studi : Informatika

Dosen Pembimbing : -

dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan disertasi dengan judul:

**EKSPLORASI MEKANISME ATTENTION CBAM UNTUK OPTIMASI PERFORMA RESNET-18 DALAM PADA DATASET TINY-IMAGENET**

adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

|  |
| --- |
| Surabaya, ….………………  Yang Membuat Pernyataan,  IQBAL BAGUS SATRIAWAN  NPM. 22081010118 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ABSTRAK

|  |  |
| --- | --- |
| Nama Mahasiswa /NPM : | Iqbal Bagus Satriawan / 22081010118 |
| Judul Skripsi : | Eksplorasi Mekanisme Attention CBAM untuk Optimasi Performa ResNet-18 dalam Pada Dataset Tiny-ImageNet |
| Dosen Pembimbing : | 1. - |
|  | 2. - |

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa model Convolutional Neural Network (CNN) ResNet-18 dengan model ResNet-18 yang dimodifikasi menggunakan modul Convolutional Block Attention Module (CBAM) pada tugas klasifikasi citra menggunakan dataset Tiny ImageNet. Metode penelitian meliputi tahapan persiapan dan preprocessing dataset, implementasi kedua model, proses pelatihan, serta evaluasi hasil dengan sejumlah metrik performa. Evaluasi dilakukan berdasarkan Top-1 dan Top-5 Accuracy, jumlah parameter, FLOPs (Floating Point Operations), waktu inferensi per gambar, konsumsi memori GPU, dan waktu pelatihan per epoch. Dataset Tiny ImageNet yang terdiri dari 200 kelas citra berukuran 64×64 piksel digunakan untuk melatih kedua model dengan konfigurasi pelatihan identik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan modul CBAM pada arsitektur ResNet-18 memberikan peningkatan akurasi Top-1 dan Top-5 dengan tambahan kompleksitas komputasi yang relatif kecil. “Analisis juga menunjukkan bahwa CBAM membantu model berfokus pada area penting citra, menghasilkan representasi fitur yang lebih informatif. Dengan demikian, mekanisme attention CBAM terbukti dapat mengoptimalkan performa dan efisiensi model CNN pada dataset berskala menengah seperti Tiny ImageNet”.

**Kata kunci** : ResNet-18, CBAM, CNN, Attention Mechanism, Tiny ImageNet.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ABSTRACT**

|  |  |
| --- | --- |
| Student Name / NPM : | Bambang Jati Negara / 20212300020000 |
| Thesis Title : | Pdf Document Classification For Course Conversion In Past Learning Recognition Program Using NLP Approach |
| Advisor : | 1. Dr. Ir. I Gede Susrama Mas Diyasa, ST. MT. IPU |
|  | 2. Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom |

**ABSTRACT**

This study aims to compare the performance of the Convolutional Neural Network (CNN) model ResNet-18 with the ResNet-18 architecture enhanced by the Convolutional Block Attention Module (CBAM) for image classification tasks using the Tiny ImageNet dataset. The research methodology includes dataset preparation and preprocessing, model implementation, training procedures, and performance evaluation. The evaluation metrics used in this study consist of Top-1 and Top-5 Accuracy, total number of parameters, FLOPs (Floating Point Operations), inference time per image, GPU memory consumption, and training time per epoch. The Tiny ImageNet dataset, consisting of 200 image classes with a resolution of 64×64 pixels, was used to train both models under identical training configurations. The experimental results indicate that the integration of the CBAM module into the ResNet-18 architecture improves both Top-1 and Top-5 accuracy, with only a minor increase in computational complexity. Further analysis shows that CBAM enables the model to focus more effectively on salient image regions, resulting in more informative feature representations. Therefore, the CBAM attention mechanism is proven to optimize both the performance and efficiency of CNN models on medium-scale datasets such as Tiny ImageNet.

**Keywords**: ResNet-18*,* CBAM*,* CNN*,* Attention Mechanism*,* Tiny ImageNet

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Klasifikasi Dokumen Pdf Untuk Konversi Mata Kuliah Pada Program Rekognisi Pembelajaran Lampau Menggunakan Pendekatan NLP”** 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/Bapak..................... selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu/Bapak ……………. selaku Ketua Program Studi xxxx Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “ Veteran “ Jawa Timur.
3. Dosen-dosen Program Studi … dst..

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,\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Penulis

# 

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

| **LEMBAR JUDUL SKRIPSI** .……………………………………..…….… **i** | | | |
| --- | --- | --- | --- |
| **LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI** ........................……………………. **v** | | | |
| **LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI** …….....…………………………... **vii** | | | |
| **ABSTRAK** ……………...………………………………………...………... **xi** | | | |
| **KATA PENGANTAR** ……………...……………………………………... **xi** | | | |
| **DAFTAR ISI** …………………………...………………………...………... **xv** | | | |
| **DAFTAR GAMBAR** …………………….…………………………...……. **xviii** | | | |
| **DAFTAR TABEL** …..…………………………………………………..….. **xxiii** | | | |
| **DAFTAR NOTASI** ………………………………………..……………….. **xxv** | | | |
| **BAB 1 PENDAHULUAN**…………………………………………...……… **1** | | | |
|  | 1.1. | Latar Belakang……………………...……………...….................. | 1 |
|  | 1.2. | Rumusan Masalah………………………….…………………….. | 5 |
|  | 1.3. | Tujuan Penelitian………………………………………………… | 7 |
|  | 1.4. | Manfaat Penelitian…………………………………..…………… | 9 |
| **BAB 2 TINJAUN PUSTAKA**…………………………..…..……………… **17** | | | |
|  | 2.1. | Penelitian Terdahulu…...………………………………………… | 17 |
|  | 2.2. | Landasan Teori……...…………………………………………… | 21 |
|  | 2.3. | Pemrosesan Data Akusisi………………………………………… | 23 |
|  | 2.3.1 | Spermatozoa Manusia……………………………………………. | 23 |
|  | 2.3.2 | Analisis Semen Manusia…………………………………………. | 24 |
|  | 2.3.3 | Pengamatan Semen Secara Makroskospis……………………….. | 25 |
|  | 2.4. | Dst…………………………………………….………………...... | 34 |
| **BAB 3 DESAIN DAN IMPLEMNTASI SISTEM..**................................... **71** | | | |
|  | 3.1. | Metode Penelitian…………………..……………………………. | 71 |
|  | 3.2. | Desain Sistem……….……...……………………………………. | 72 |
|  | 3.3. | Pelacakan Pergerakan Kepala Spermatozoa………....................... | 74 |
|  | 3.3.1. | *Preprocessing*…………………………………………….............. | 74 |
|  | 3.4. | Dst……........................................................................................... | 92 |
| **BAB 4 PNGUJIAN DAN ANALISA** ……………………………………  **94** | | | |
|  | 4.1. | Metode Pengujian.......................................…………………......... | 94 |
|  | 4.2. | Hasil Pengujian…….……………………………………………... | 94 |
|  | 4.3. | Dst……………..…………………………………………………. | 114 |
| **BAB 5 PENUTUP** ………………………………………………………… **116** | | | |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  | | | |
|  | | | |

# DAFTAR GAMBAR

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Gambar 1.1 | Gambaran Permasalahan Dengan Analisis Spermatozoa Manusia………………………………………………….. | 4 |
|  | Gambar 1.2 | Perangkat yang digunakan untuk mengambil citra dan video spermatozoa, di laboratorium mikrobiologi Poltekes Surabaya – 20 spermatozoa…………………… | 9 |
|  | Gambar 1.3. | Diagram Tulang Ikan Penelitian………………………… | 12 |
|  | Gambar 1.4. | Alur Penentuan Abnormalitas Bentuk dan Pergerakan Spermatozoa ..............................………………………… | 13 |
|  | Gambar 2.1. | Kerangka Konsep Untuk Klasifikasi Hasil Pemeriksaan Spermatozoa……………………………………………... | 22 |
|  | Gambar 2.2. | Struktur Morfologi Sperma……………………………… | 25 |
|  | Gambar 2.3. | *Bright field microscope*: (a) Prinsip kerja *bright field microscope*, (b) Irisan *bright field microscope*………….. | 31 |
|  | Gambar 2.4 | *Phase contrast microscope* …………...………………… | 32 |
|  | Gambar 2.5 | Perbandingan kontras image sel hidup dari dua jenis mikroskop : (a) *bright field microscope* , (b) *phase contrast microscope*……………………………………. | 32 |
|  | Gambar 2.6. | Prosedur pengambilan data citra dan video sperma, (a) *Bright field microscope* yang digunakan, (b) Cairan sperma yang sudah diteteskan di atas kaca preparat…….. | 33 |
|  | Gambar 2.7. | Pemrosesan Awal Ketidaknormalan Sperma Berdasarkan Morfologi……...………………………………………… | 34 |
|  | Gambar 2.8. | Konversi *RGB* ke *Grey scale* pada Citra Spermatozoa. (a) Citra *RGB*, (b) Citra *Grey Scale*…………………….. | 36 |
|  | Gambar 2.9. | Distribusi *Gaussian* 1D…………………………………. | 38 |
|  | Gambar 2.10. | Distribusi 2D *Gaussian*………………………………….. | 38 |
|  | Gambar 2.11. | Prosess *background subtraction*………………………… | 39 |
|  | Gambar 2.12. | Alur proses dari basic model *background subtraction*….. | 40 |
|  | Gambar 2.13. | Alur diagram dari algoritma *Frame Difference*…………. | 41 |
|  | Gambar 2.14. | Alur diagram dari algoritma *Weighted Moving Mean*…... | 42 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR TABEL

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Tabel 1.1 | Matriks Posisi Penelitian pada Penelitian Terkait………….. | 6 |
|  | Tabel 2.1. | Gambaran Makroskopik Analisis Semen (Standart WHO, 2010)………………………………..………………………. | 28 |
|  | Tabel 2.2 | Klasifikasi Morfologi Sperma (Wein et al., 2012)…………. | 29 |
|  | Tabel 2.3 | Hasil *review background subtraction* (Li, Q 2012) dan Penelitian (Basuki, 2016)…………. | 39 |
|  | Tabel 3.1. | Hasil Ekstraksi Fitur Kelas Spermatozoa (Valid) dan Bukan Spermatozoa (Tidak Valid) untuk Data *Training*…………... | 85 |
|  | Tabel 3.2. | Hasil Pengujian Klasifikasi Sperma Dengan Metode *Support Vector Machine (SVM)*…………………………... | 88 |
|  | Tabel 3.3. | Hasil Pengujian Klasifikasi Sperma Dengan Metode *K-Nearest Neighbour (K-NN)*………………………………… | 90 |
|  | Tabel 4.1. | Contoh perbandingan hasil pelacakan spermatozoa setiap algoritma *Basic background subtraction* pada *frame* ke 120 | 109 |
|  | Tabel 4.2. | Contoh perbandingan hasil pelacakan spermatozoa setiap algoritma *statistical background subtraction* pada *frame* ke 120 …………………………………………………………. | 112 |
|  | Tabel 4.3. | Hasil dari *precision, recall*, dan *f*-*measure* dari setiap algoritma *background subtraction* ………………………… | 114 |
|  | Tabel 5.1. | Identifikasi Spermatozoa (J. Elia, 2010)…………………… | 120 |
|  | Tabel 5.2. | Posisi Sperma Data Uji Selama Penjejakan………………... | 132 |
|  | Tabel 5.3. | Posisi Data Sperma Manusia Selama Penjejakan…………. | 133 |
|  | Tabel 5.4. | Regresi Linear dan Nilai *RMS* Data Sperma Uji Selama Penjejakan………………..…………………………………. | 134 |
|  | Tabel 5.5. | Regresi Linear dan Nilai *RMS* Data Sperma Manusia Selama Penjejakan………………………………………...... | 135 |
|  | Tabel 5.6. | Jumlah Dan Prosentase Dari Kelompok Spermatozoa…....... | 135 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR NOTASI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| I | : | Intensitas |
| WR | : | *weight factor* |
| H | : | *hue* |
| S | : | *saturation* |
| V | : | *value* |
| *dst* | : | Gambar akumulator |
| *scr* | : | Gambar Input |
| *F* | : | *Foreground* |
| *B* | : | *Background* |
| *f* | : | *Frame* |
| *SE* | : | *Structuring Element* |
| *ECD* | : | *Equivalent Circular Diameter* |
| b | : | bias |
|  | : | bobot *euclidian distance* antara vektor fitur |
|  | : | Fungsi Vektor Masukan |
|  | : | jarak di antara data uji z ke setiap vector data latih |
|  | : | fungsi kernel linear |
|  | : | fungsi Gaussian satu dimensi |
|  | : | standard deviasi dari distribusi |
|  | : | fungsi Gaussian dua dimensi |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital telah menghasilkan berbagai arsitektur jaringan saraf tiruan yang unggul dalam pengenalan citra, salah satunya adalah Convolutional Neural Network (CNN). CNN telah terbukti efektif dalam berbagai tugas pengenalan visual seperti klasifikasi, deteksi, dan segmentasi citra karena kemampuannya mengekstraksi representasi fitur secara hierarkis dari data visual [1]. Salah satu arsitektur CNN yang paling populer adalah ResNet, yang memperkenalkan konsep residual learning untuk mengatasi masalah vanishing gradient pada jaringan dalam, sehingga memungkinkan pelatihan model yang lebih stabil dan akurat [2].

Namun demikian, CNN konvensional seperti ResNet-18 masih memiliki keterbatasan dalam menangkap informasi penting secara selektif. Selama proses konvolusi, semua bagian citra diproses dengan bobot yang relatif sama, sehingga model tidak selalu fokus pada area yang paling relevan. Untuk mengatasi hal ini, berbagai penelitian memperkenalkan attention mechanism yang memungkinkan jaringan untuk “memperhatikan” bagian citra yang lebih informatif. Salah satu modul atensi yang banyak digunakan adalah Convolutional Block Attention Module (CBAM), yang bekerja melalui dua tahap utama Channel Attention dan Spatial Attention yagg berguna memperkuat fitur penting baik pada dimensi kanal maupun spasial [3]. Modul ini bersifat ringan, mudah diintegrasikan ke berbagai arsitektur CNN, dan tidak menambah kompleksitas komputasi secara signifikan, sehingga banyak digunakan untuk meningkatkan efisiensi jaringan [4].

Penelitian terbaru oleh Klomp et al. (2023) menunjukkan bahwa integrasi modul atensi, termasuk CBAM dan modul sejenis seperti SE dan ECA, dapat meningkatkan akurasi model tanpa menambah beban komputasi yang besar, meskipun peningkatan inference time perlu diperhatikan. Studi tersebut juga menegaskan bahwa penambahan modul atensi pada arsitektur ResNet dapat menghasilkan peningkatan akurasi yang kompetitif dibandingkan memperdalam jaringan tanpa atensi [4]. Selain itu, penelitian oleh Ma et al. (2024) menunjukkan bahwa kombinasi atensi kanal dan spasial seperti pada CBAM sangat efektif dalam meningkatkan ketepatan dan ketahanan model pengenalan citra pada berbagai skenario, tanpa menambah kompleksitas berlebihan [5].

Dataset Tiny ImageNet merupakan versi skala menengah dari dataset ImageNet yang terdiri atas 200 kelas dengan total 100.000 gambar untuk pelatihan dan 10.000 gambar untuk validasi, masing-masing berukuran 64×64 piksel. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zhai (2018) dalam Going Deeper on the Tiny ImageNet Challenge, dataset ini memiliki tingkat kesulitan yang cukup tinggi karena ukuran gambar yang kecil dan variasi kelas yang luas, sehingga menuntut model untuk memiliki kemampuan generalisasi yang baik [6]. Dengan karakteristik tersebut, Tiny ImageNet menjadi dataset yang ideal untuk menguji sejauh mana efektivitas penambahan modul attention seperti CBAM dalam membantu model CNN mempelajari fitur penting secara lebih efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengeksplorasi dan membandingkan performa model ResNet-18 standar dengan ResNet-18 yang dimodifikasi menggunakan CBAM pada dataset Tiny ImageNet. Evaluasi dilakukan terhadap berbagai metrik seperti Top-1 dan Top-5 Accuracy, jumlah parameter, FLOPs (Floating Point Operations), waktu inferensi per gambar, penggunaan memori GPU, dan waktu pelatihan per epoch. Melalui perbandingan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh modul CBAM terhadap akurasi, efisiensi, dan kompleksitas komputasi model CNN pada dataset berskala menengah.

## Rumusan Masalah

Perkembangan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN) seperti ResNet-18 telah menunjukkan performa yang sangat baik dalam berbagai tugas klasifikasi citra. Namun demikian, model CNN konvensional memiliki keterbatasan dalam hal kemampuan untuk secara selektif menangkap informasi penting dari bagian citra yang relevan. Proses konvolusi yang dilakukan secara menyeluruh terhadap seluruh area citra sering kali membuat model kurang mampu membedakan fitur yang benar-benar signifikan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, beberapa penelitian mengusulkan penggunaan mekanisme attention, salah satunya adalah Convolutional Block Attention Module (CBAM), yang mampu memperkuat representasi fitur baik pada tingkat kanal (channel attention) maupun spasial (spatial attention).

Meskipun CBAM telah terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi pada beberapa arsitektur CNN besar seperti ResNet-50 atau EfficientNet menggunakan dataset berskala besar seperti ImageNet, penelitian mengenai efektivitas modul ini pada arsitektur kelas menengah seperti ResNet-18 masih relatif terbatas. Terlebih lagi, penerapan CBAM pada dataset berskala menengah seperti Tiny ImageNet yang memiliki ukuran citra kecil dan jumlah kelas yang banyak belum banyak dieksplorasi secara mendalam. Kondisi ini menimbulkan pertanyaan mengenai seberapa besar pengaruh integrasi CBAM terhadap performa dan efisiensi model CNN yang lebih ringan seperti ResNet-18, serta apakah peningkatan akurasi yang dihasilkan sebanding dengan tambahan kompleksitas komputasi yang dibawanya.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis dan membandingkan performa antara model ResNet-18 standar dan ResNet-18 yang dilengkapi dengan modul CBAM pada dataset Tiny ImageNet. Analisis dilakukan tidak hanya dari segi akurasi klasifikasi (Top-1 dan Top-5 Accuracy), tetapi juga dari sisi efisiensi dan kompleksitas model, seperti jumlah parameter, jumlah operasi komputasi (FLOPs), waktu pelatihan per epoch, waktu inferensi per citra, serta konsumsi memori GPU. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat menjawab sejauh mana modul CBAM mampu memberikan peningkatan performa yang signifikan tanpa mengorbankan efisiensi model.

## Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh integrasi Convolutional Block Attention Module (CBAM) terhadap performa arsitektur ResNet-18 dalam klasifikasi citra pada dataset Tiny ImageNet. Secara spesifik, penelitian ini akan menganalisis dampak penambahan modul CBAM pada setiap blok residual terhadap kemampuan model dalam mengklasifikasikan citra berukuran kecil dan kompleks. Evaluasi performa dilakukan dengan membandingkan model ResNet-18 original dan ResNet-18 dengan CBAM berdasarkan beberapa metrik, meliputi Top-1 dan Top-5 Accuracy, jumlah parameter, Floating Point Operations (FLOPs), waktu inferensi per gambar, waktu pelatihan per epoch, serta konsumsi memori GPU. Melalui analisis kuantitatif dan kualitatif ini, penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif mengenai efektivitas mekanisme attention dalam meningkatkan akurasi klasifikasi dan efisiensi komputasi pada arsitektur CNN skala menengah.

Urgensi Penelitian

## 1.4. Urgensi Penelitian

Arsitektur ResNet-18, meskipun telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi computer vision, masih memiliki keterbatasan dalam mengekstraksi fitur penting pada dataset dengan variasi tinggi dan resolusi rendah seperti Tiny ImageNet. Dataset ini menghadirkan tantangan khusus karena ukuran citra yang kecil (64×64 piksel) namun dengan 200 kelas yang beragam, sehingga membutuhkan model dengan kemampuan representasi fitur yang lebih baik. Mekanisme attention, khususnya CBAM, telah menunjukkan potensi dalam meningkatkan fokus model terhadap fitur-fitur relevan melalui channel dan spatial attention. Namun, penerapan CBAM pada ResNet-18 untuk dataset Tiny ImageNet belum banyak dieksplorasi secara mendalam, terutama dari perspektif trade-off antara peningkatan akurasi dan overhead komputasi yang ditimbulkan. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk memberikan wawasan empiris mengenai efektivitas dan efisiensi penambahan modul attention pada arsitektur CNN skala menengah, yang dapat menjadi acuan dalam pengembangan model deep learning yang lebih optimal untuk aplikasi dengan keterbatasan resource komputasi.

## 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik dari sisi akademik maupun praktis. Dari sisi akademik, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur dan pengetahuan ilmiah mengenai penerapan mekanisme attention dalam arsitektur CNN, khususnya pada model dengan kompleksitas menengah seperti ResNet-18 yang diuji menggunakan dataset berskala menengah Tiny ImageNet. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengkaji pengaruh berbagai jenis modul attention terhadap performa model CNN pada dataset yang berbeda.

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini dapat memberikan referensi bagi peneliti dan praktisi di bidang citra digital dalam menentukan kombinasi arsitektur CNN dan modul attention yang efisien untuk berbagai kebutuhan klasifikasi citra, terutama dalam kondisi dengan keterbatasan sumber daya komputasi. Selain itu, penelitian ini juga memberikan gambaran empiris mengenai trade-off antara peningkatan akurasi dan penambahan kompleksitas model akibat penerapan CBAM, sehingga dapat menjadi pertimbangan penting dalam desain model yang seimbang antara performa dan efisiensi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB II TINJAUN PUSTAKA

**2.1. Penelitian Terdahulu**

Penelitian-penelitian yang sudah dilakukan peneliti sebelumnya yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

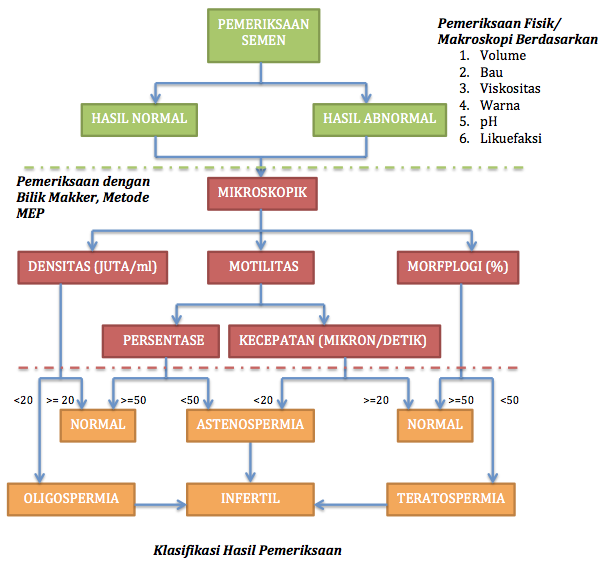
1. Klasifikasi Spermatozoa pada manusia dengan aturan *Fuzzy* [6]. Melakukan klasifikasi spermatozoa pada manusia yang didasarkan pada bentuk kepala, leher dan ekor sperma, dengan melakukan segmentasi sperma menggunakan teknik pengolahan citra dan klasifikasi kepala sperma. Penelitian yang dilakukan yaitu pada gambar digital sperma. Spermatozoa yang disegmentasi terdiri dari tiga bagian yaitu Kepala Sperma, Leher, dan ekor. Gambar sperma ini diproses, hasilnya adalah fitur sperma yang tersegmentasi, kemudian Metode yang diusulkan untuk mengklasifikasi adalah *Fuzzy* yang dikategorikan kelas normal dan abnormal menggunakan bentuk dan daerah kepala sperma.
2. Dst……

**2.2. Landasan Teori**

Peta jalan penelitian yang memuat tahapan-tahapan pengembangan analisa spermatozoa pada manusia sesuai dengan kerangka konsep pada Gambar 2.1. Penelitian ini dilakukan selama 2 tahap, tahap pertama penelitian menentukan ketidaknormalan sperma dilihat dari morfologi, dan tahap kedua, yang merupakan fokus penelitian adalah analisis spermatozoa manusia untuk melihat ketidaknormalan berdasarkan motiliti (pergerakan yang berdasarkan lintasan dan kecepatan sperma) yang diambil dari data video spermatozoa. Pada tahap ini, sistem ini akan diujikan pada sperma manusia dan melakukan klasifikasi apakah tergolong sperma normal atau abnormal. Untuk menentukan tingkat akurasi, hasil proses klasifikasi oleh analisa sperma divalidasi dengan pendapat ahli. Dengan demikian analisa sperma yang dibuat dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya.

Penelitian yang dikembangkan ditahap pertama untuk menentukan ketidaknormalan spermatozoa dilihat dari morfologi sperma. Untuk mendapatkan morfologi spermatozoa dilakukan pemrosesan terhadap citra spermatozoa, Sedangkan untuk menentukan motilitas sperma maka yang diolah adalah video spermatozoa.

Penentuan apakah spermatozoa tergolong mempunyai morfologi yang normal maupun abnormal dapat dilakukan dengan mendeteksi perbedaan bentuk kepala maupun bentuk ekor dari spermatozoa. Terhadap citra spermatozoa, dilakukan tahap pengolahan awal yang bertujuan untuk mempermudah pemrosesan lebih lanjut. Pada tahap ini akan diterapkan metode-metode *image enhancement* dan penghilangan *noise*. Selanjutnya citra akan dikenai proses penghilangan latar belakang, kemudian dilakukan proses segmentasi untuk mendapatkan sel spermatozoa. Untuk setiap spermatozoa yang dideteksi dicari tepiannya menggunakan metode tertentu. Tepian ini nantinya akan direpresentasikan ke bentuk lain dan dicari beberapa fiturnya. Nilai dari fitur-fitur tersebut dimasukkan ke mesin klasifikasi.

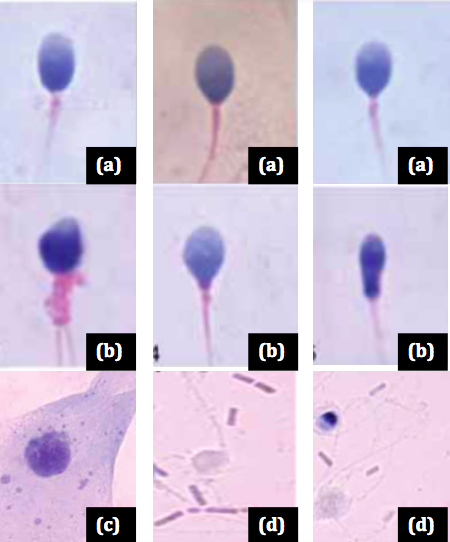


###### Gambar 2.1. Kerangka Konsep Untuk Klasifikasi Hasil Pemeriksaan Spermatozoa

# BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

* 1. **Metode Penelitian**

Proses manual yang dilakukan oleh ahli dalam analisis spermatozoa, menyita banyak waktu dan tenaga [7] . Di laboratorium analisis spermatozoa ditentukan secara acak dalam setiap layang pandang mikroskop. Setiap layang pandang diperoleh informasi jumlah tertentu spermatozoa normal dan abnormal secara acak. Hasil yang diperoleh dalam setiap layang pandang kemudian dijumlah dan dirata-rata, sehingga diperoleh informasi persentase spermatozoa normal dan abnormal dari setiap sediaan sampel. Metode konvensional ini akan menimbulkan perbedaan hasil pengukuran jika dilakukan oleh ahli yang berbeda, karena perhitungan spermatozoa normal dan abnormal dilakukan secara acak. Contoh spermatozoa manusia normal dan abnormal serta bukan spermatozoa ditunjukkan pada Gambar 3.1.



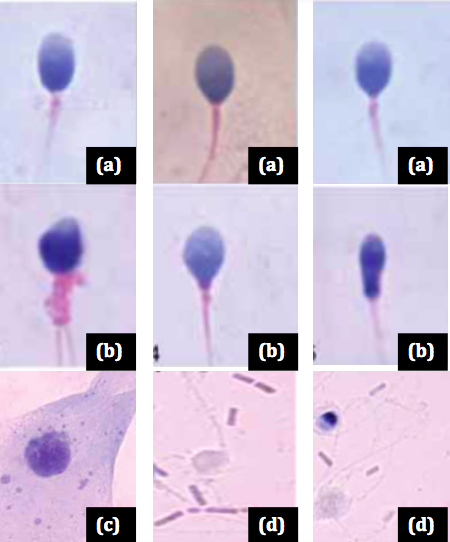
###### Gambar 3.1. Spermatozoa manusia (WHO, 2010), (a) Normal, (b) Abnormal, (c) *Epithelial Cell*, (d) *Bacilli*

Penentuan apakah spermatozoa tergolong mempunyai morfologi yang normal maupun tidak normal dapat dilakukan dengan mendeteksi perbedaan bentuk kepala maupun bentuk ekor dari spermatozoa. Terhadap citra spermatozoa, dilakukan tahap pengolahan awal yang bertujuan untuk mempermudah pemrosesan lebih lanjut. Pada tahap ini akan diterapkan metode-metode *image enhancement* dan penghilangan *noise*. Selanjutnya citra akan dikenai proses penghilangan latar belakang, kemudian dilakukan proses segmentasi untuk mendapatkan sel spermatozoa. Untuk setiap spermatozoa yang dideteksi dicari tepiannya menggunakan metode tertentu. Tepian ini nantinya akan direpresentasikan ke bentuk lain dan dicari beberapa fiturnya. Nilai dari fitur-fitur tersebut dimasukkan ke mesin klasifikasi

* 1. **Desain Sistem**

Dalam penelitian ini, identifikasi spermatozoa diawali dengan pemotongan video dengan durasi 2 detik, 10 detik dan 15 detik, pemotongan ini dilakukan untuk mencari durasi yang terbaik dalam menghitung jumlah spermatozoa dalam satu video. Kemudian dilakukan ekstraksi video menjadi beberapa *frame* agar dapat dugunakan untuk mencari *frame* rata-rata, dan membandingkan *frame* satu dengan *frame* lainya, proses selanjutnya adalah *preprocessing*, segmentasi, *background subtraction* dengan modifikasi metode *frame difference*, dan deteksi *ROI* dengan nilai *threshold* H dan S pada ruang warna HSV dari data citra menggunakan *BLOB Analysis* selanjutnya dilakukan ekstaksi fitur, dan yang terakhir proses klasifikasi menggunakan metode *Support Vector Machine (SVM)* yang menghasilkan ouput jumlah spermatozoa yang teridentifikasi, serta pengujian dengan metode lain dengan menggunakan *K-Nearest Neighbor (K-NN)* untuk selanjutnya dibandingkan hasilnya (Seperti pada Gambar 3.2).

Pada tahap awal dilakukan pengambilan data spermatozoa yang sudah simpan di komputer. Selanjutnya dilakukan *preprocessing* yaitu citra RGB diubah ke dalam bentuk HSV dan digunakan nilai *Hue* (H) dan *Saturation* (S) dengan nilai *threshold* tertentu sehingga menjadi sebuah citra biner. Pada penelitian ini, citra biner yang komponennya bernilai 0 berwarna hitam dan komponennya bernilai 1 berwarna putih. Untuk mendapatkan citra biner dari suatu citra *non-biner* dibutuhkan operasi *thresholding* terhadap citra *non-biner* tersebut.



**Gambar 3.2. Identifikasi Abnormalitas Morfologi Spermatozoa**

Hal ini perlu dilakukan karena nantinya akan terdapat operasi pemrosesan yang biasanya digunakan pada citra yang berjenis biner, salah satunya yaitu operasi morfologi. Setelah diubah ke citra biner selanjutnya dilakukan operasi erosi untuk memperkecil obyek serta menghilangkan noise dan *dilasi* mempertebal obyek kembali sehingga spermatozoa tersebut dapat teridentifikasi. Kemudian baru disegmentasi menggunakan *BLOB Analysis* pada *ROI (Region of Interest)* berdasarkan nilai threshold. Pada kasus ini, lebih difokuskan untuk mendeteksi keberadaan spermatozoa berdasarkan *region* kepala spermatozoa karena lebih mudah diidentifikasi karena obyeknya lebih besar dibandingkan ekor dan noise pada umumnya.

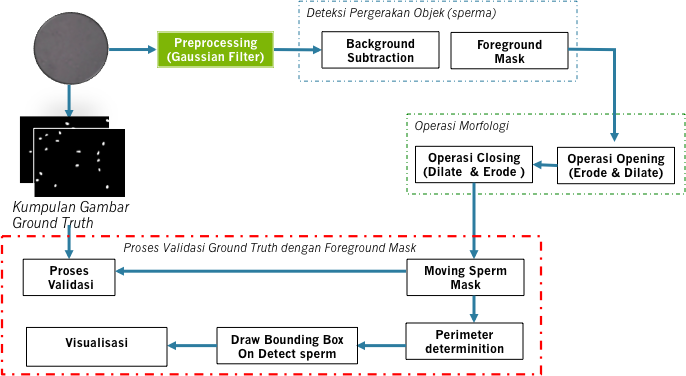
# BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

**4.1. Metode Pengujian**

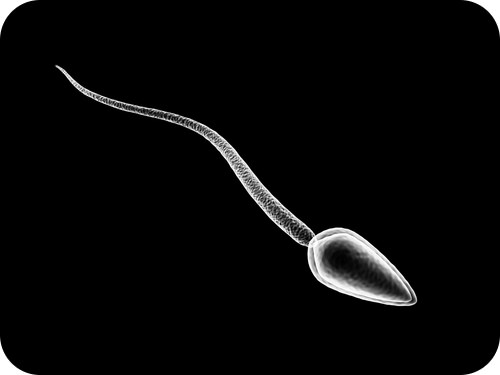
Ada 4 prosess yang dilakukan untuk dapat mendeteksi dan menghitung sperma manusia (Blok diagram pada Gambar 4.1). Prosess yang pertama adalah *preprocessing* menggunakan *gaussian filter*, yang dilakukan pada setiap *frame* yang dibaca dari video sperma. Selanjutnya adalah prosess *background subtraction*, hasil dari proses ini adalah *binary image* yang merepresentasikan daerah objek yang bergerak pada *frame*. Dilanjutkan dengan operasi morfologi yang terdiri dari operasi *opening* dan operasi *closing*, yang bertujuan untuk menghilangkan *noise* dan menyempurnakan bentuk sperma (bergerak) yang berhasil terekstraksi dari pada prosess sebelumnya. Untuk menguji atau memvalidasi hasil deteksi dari setiap algoritma *background subtraction* yang digunakan, hasil *foreground mask* dari operasi morfologi akan dibandingkan dengan gambar *ground truth* sperma yang bergerak hasil dari pengamatan secara manual. Dan untuk keperluan visualisasi, setiap daerah BLOB (objek putih pada *binary image*) pada *foreground mask* akan diberi *bounding box* pada *frame* aslinya dan sekaligus akan dihitung jumlah dari objek BLOB yang ada pada *foreground mask*, sehingga terlihat bahwa sistem telah mampu untuk melakukan deteksi dan perhitungan terhadap sperma yang bergerak. Pembahasan lebih rinci dari setiap prosess akan dibahas pada sub-bab selanjutnya

### 4.2. Hasil Pengujian

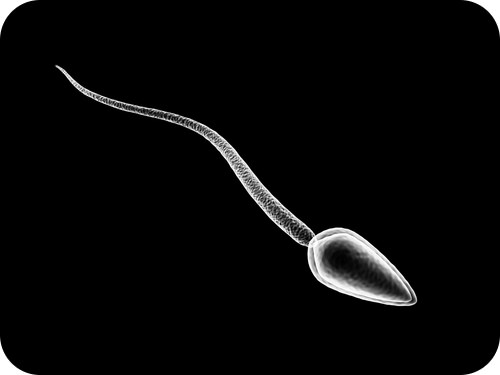
Gambar *ground truth* dalam penelitian ini merupakan gambar yang berisi informasi tentang daerah sesungguhnya dari objek sperma yang bergerak pada *frame* tertentu dari video data sperma. Gambar *ground truth* diperoleh dengan cara mengamati secara manual daerah-daerah pada *frame* video yang terdapat objek sperma yang bergerak. Cara dalam pembentukan gambar *ground truth*, dapat dilihat pada Gambar 4.2.



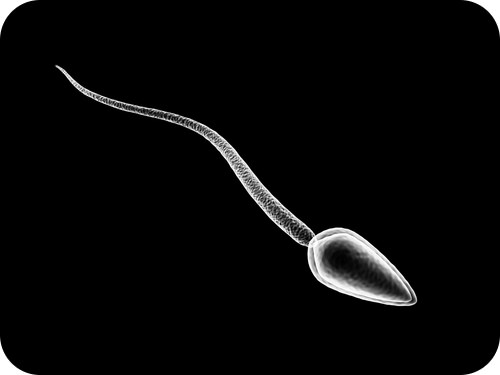
**Gambar 4.1. Blok Diagram Prosess Deteksi dan Menghitung spermatozoa**



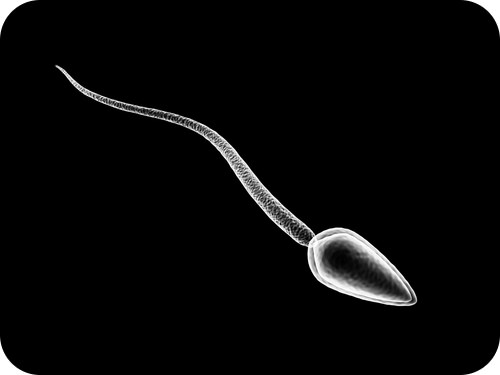
S1b



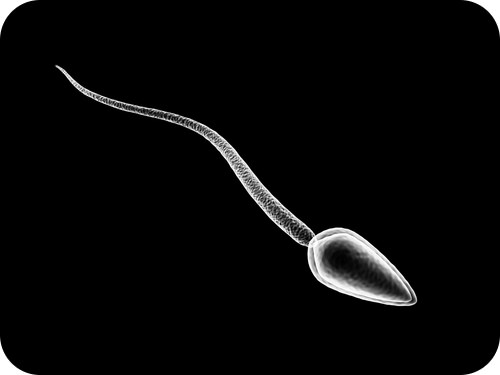
S1a



S3b



S3a



S2a

**Frame Video**

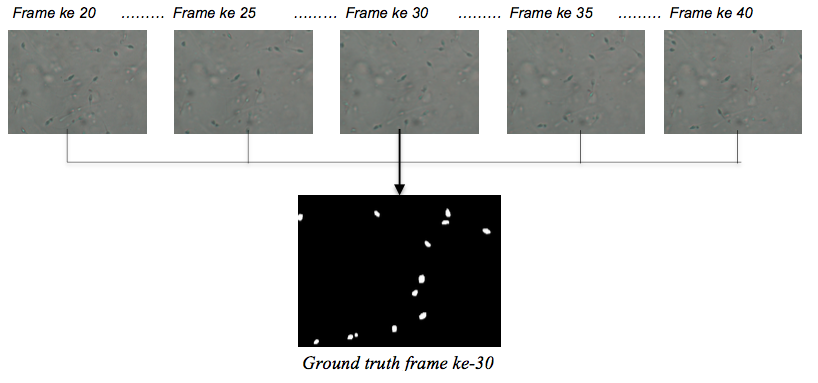
**Ground Truth**

Segmentasi Manual

###### 

###### Gambar 4.2. Cara Untuk Membuat *Ground Truth Image*

Untuk memastikan daerah tersebut memang terdapat objek sperma yang bergerak, maka diamati 10 *frame* sebelum dan 10 *frame* sesudah dari *frame* yang akan dibuat gambar *ground truth*-nya. Misal: gambar *ground truth* frame ke-30 dibuat dengan cara mengamati pergerakan sperma mulai dari *frame* ke-20 sampai dengan *frame* ke-40 dari video. Daerah dimana terdapat objek sperma yang bergerak, ditandai dengan memberikan nilai piksel 255 (putih) dan daerah yang tidak memiliki objek sperma yang bergerak ditandai dengan memberikan nilai piksel 0 (hitam). Dengan cara ini maka terbentuk gambar *ground truth* yang akan menjadi acuan pada proses pengujian dari hasil deteksi dan perhitungan sperma. Ilustrasi dari pembuatan gambar *ground truth* pada *frame* 30 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



###### Gambar 4.3. Ilustrasi Pembuatan *Ground Truth Image*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**BAB V**

**PENUTUP**

**5.1. Kesimpulan**

Dari keseluruhan pengujian sistem, hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan antara lain sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian, identifikasi dan penghitungan spermatozoa bisa dilakukan secara automatis. Dalam penelitian ini, Blob Analysis mendeteksi ROI (Region of Interest) berdasarkan nilai treshold citra dari H dan S. Selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan *Support Vector Machine (SVM)* dan *K-NN*, menggunakan fitur *Area, Eccentricity dan ECD*. Berdasarkan pengujian SVM didapatkan akurasi yang signifikan mencapai tingkat akurasi 91,92%. Selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan metode K-NN yang digunakan sebagai metode pembanding dengan hasil akurasi mencapai 91%.
2. Dari 21 algoritma yang digunakan untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan terhadap objek sperma bergerak pada video (*Basic* dan *Statistical background subtraction),* algoritma *Mixture Of Gaussian V2* pada proses *background subtraction* mampu digunakan untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan terhadap objek sperma bergerak pada video, dengan hasil *foreground* yang memiliki sedikit noise, objek *background* bergerak pada video tidak terdeteksi sebagai *foreground* objek, dan bentuk sperma dapat terekstraksi lebih sempurna. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dalam melakukan deteksi dan perhitungan terhadap sperma bergerak algoritma *Mixture Of Gaussian V2* memiliki nilai *f-measure* sebesar 0.9449. Hasil ini merupakan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan algoritma *background subtraction* lain yang dicoba. Ini menunjukkan bahwa algoritma *Mixture Of Gaussian V2* sesuai untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma bergerak dengan berhasil mengatasi tantangan dan keuntungan yang ada pada kasus ini. Nilai *f-measure* dari algoritma *Adaptive Background Learning* sebesar 0.9205. Beda nilai antara algoritma *Mixture Of Gaussian V2* dengan *Adaptive Background Learning* hanya 0.0244, hal ini memperlihatkan bahwa *basic model background subtraction* juga mampu untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma yang bergerak.
3. Dengan perangkat yang dikembangkan, penentuan abnormalitas pergerakan *spermatozoa* manusia pada file video dapat dilakukan. Posisi pergerakan *spermatozoa* hasil penjejakan dikenali bentuk lintasannya berdasarkan rata-rata jarak posisinya terhadap garis regresi linier, dengan *threshold* 10 terdapat 4 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif untuk data uji, sedangkan untuk video data spermatozoa manusia terdapat 10 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif. Metode yang digunakan berhasil menentukan 8 (delapan) *spermatozoa* data UNSW *Embryology*, dan 14 *spermatozoa* manusia. Dari 8 *spermatozoa* data uji yang dijejaki, terdapat 50% progresifdan 50% non progresif. Sedangkan untuk 14 *spermatozoa* manusia yang dijejaki, terdapat 71% progresif dan 29% non progresif. Menurut *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen* tahun 2010 dengan nilai 71% progresif berarti pergerakan *spermatozoa* manusia normal

**5.2. Saran Pengembangan**

1. Dalam penelitian ini sperma yang bergerak telah dapat dideteksi dan dihitung jumlahnya. Hal ini dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yang berkatian tentang analisa tingkat infertilitas sperma. Hasil dari deteksi sperma dapat dikembangkan dengan melakukan penjejakan terhadap sperma yang terdeteksi sehingga dapat diketahui pola pergerakan dari sperma. Hasil dari deteksi sperma juga dapat digunakan untuk menganalisa bentuk (morfologi) dari sperma, karena bentuk dari sperma juga termasuk parameter dalam menentukan tingkat infertilitas sperma.
2. Dalam penelitian ini hanya digunakan tahap *prepocessing* berupa *image enhancement* dengan beberapa metode. Dalam penelitian selanjutnya dapat ditambahkan tahapan *prepocessing* yang lebih banyak untuk mengurangi *noise* pada video masukan. tahap *prepocessing* berupa *image enhancement* yang dapat ditambahkan, misalnya menambah ken tahapan *background substraction*.
3. Algortima *matching-based* yang diterapkan dalam penelitian ini masih belum optimal, masih ditemukan beberapa faktor yang tidak dapat diatasi atau menjadi penyebab kesalahan dalam penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan. Dalam penelitian selanjutnya dapat menerapkan metode lain atau mengoptimalkan algoritma *matching-based* agar dapat mengatasi faktor-faktor yang menjadi penyebab kesalahan penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR PUSTAKA

1. D. S. Alex, and A. Wahi, (2014) “Background subtraction frame difference algorithm for moving object detection and extraction,” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 60, no. 3, pp. 623–628.
2. H. B. Basoeki, A.D. Wibawa and I. K. E. Purnama, (2016), “Improving sperms detection and counting using single Gaussian background subtraction,” in *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)*. IEEE, pp. 295–299.
3. Borges Jr, E., Setti, A., Braga, D., Figueira, R. and Iaconelli Jr, A. (2016), “Total motile sperm count has a superior predictive value over the who 2010 cut-off values for the outcomes of intracytoplasmic sperm injection cycles,” *Andrology Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 880–886.
4. Djurayev, A. and Primora, G., (1990), “Automatic interesting object extraction from images based on edge information and texture analysis,” *Interna- tional Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 6, no. 12, pp. 395–399.
5. Dst…………