



TESIS - TE142599

Deteksi dan Perhitungan Spermatozoa Manusia
Menggunakan *Single Gaussian Background
Subtraction*

HARIO BASKORO BASOEKI
2214 205 014

DOSEN PEMBIMBING
Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



TESIS - TE142599

Detection and Counting of Human
Spermatozoa Using *Single Gaussian
Background Subtraction*

HARIO BASKORO BASOEKI
2214 205 014

SUPERVISOR

Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.

Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT.

MASTER PROGRAM
MULTIMEDIA INTELLIGENT NETWORK
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

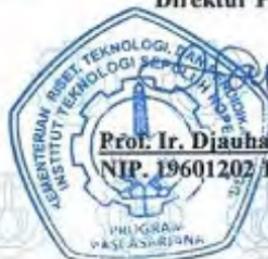
**oleh :
Hario Baskoro Basoeki
NRP : 2214 205 014**

**Tanggal Ujian: 20 Juni 2016
Periode Wisuda: September 2016**

Disetujui oleh:

- 1. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.** (Pembimbing I)
NIP. 19690730 199512 1 001
- 2. Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT.** (Pembimbing II)
NIP. 19760505 200812 1 003
- 3. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.** (Penguji)
NIP. 19700313 199512 1 001
- 4. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.** (Penguji)
NIP. 19680601 199512 1 009
- 5. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.** (Penguji)
NIP. 19690613 199702 1 003

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djuhar Manfaat, M.Sc, Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

Deteksi dan Perhitungan Spermatozoa Manusia Menggunakan *Single Gaussian Background Subtraction*

Nama mahasiswa : Hario Baskoro Basoeki
NRP : 2214205014
Pembimbing : Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Co – Pembimbing : Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT.

ABSTRAK

Penelitian tentang penentuan tingkat infertilitas sperma terus dikembangkan. Tahap awal yang penting pada penelitian infertilitas sperma adalah pendeteksian objek sperma. Tingkat keberhasilan dalam memisahkan objek sperma dari cairan semen memiliki peran penting untuk proses analisa selanjutnya. Penelitian ini melakukan deteksi dan perhitungan spermatozoa manusia. Sperma yang terdeteksi adalah sperma yang bergerak pada data video. Untuk melakukan deteksi pada sperma yang bergerak, metode *single gaussian background subtraction* digunakan. Metode ini sesuai dalam kasus deteksi sperma karena data sperma yang digunakan cenderung uni-modal. Penelitian ini juga membandingkan metode *background subtraction* lainnya dalam melakukan deteksi sperma. Dari hasil pengujian yang dilakukan, metode *single gaussian* memiliki nilai *f-measure* sebesar 0.853 dan berhasil dalam mengekstraksi bentuk sperma mendekati bentuk aslinya dibandingkan dengan metode lainnya.

Kata kunci: *deteksi sperma, background subtraction, men infertility test*

Detection and Counting of Human Spermatozoa Using Single Gaussian Background Subtraction

Name : Hario Baskoro Basoeki
NRP : 2214205014
Supervisor : Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Co – Supervisor : Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT.

ABSTRACT

Research about determining infertility rate of sperm is still being under constant development. First important phase on the sperm infertility observation is to detection of sperm object. Success rate of separate sperm with semen fluids has important role for further analytical measure. This research is on its ways to detect and count human's spermatozoa. Detected sperms are moving sperm that is moving on the video. To detect moving sperm, Single Gaussian background subtraction is used. This method fits for sperm detection because the sperm data used are tends to be in unimodal. This research also uses other methods of background subtraction as comparison. The examination result shows, Single Gaussian method has f-measure value, 0.853 and successfully extracts the sperm shape fully better than other methods.

Keywords: *moving object detection, moving sperm detection, male fertility test*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
BAB 2	7
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 <i>State of the art</i>	7
2.2 Dasar Spermatologi	11
2.3 Mikroskop Optik	13
2.3.1 <i>Bright Field Microscope</i>	14
2.3.2 <i>Phase Contrast Microscope</i>	15
2.4 Histogram	16
2.5 Citra Biner (<i>Binary Image</i>)	17
2.6 <i>Gaussian Filter</i>	18
2.7 <i>Background Subtraction</i>	19
2.8 <i>Basic Model Background Subtraction</i>	21
2.8.1 <i>Frame Difference</i>	22
2.8.2 <i>Weighted Moving Mean</i>	23
2.8.2 <i>Weighted Moving Variance</i>	24
2.9 <i>Statistical Model Background Subtraction</i>	25
2.9.1 <i>Single Gaussian</i>	25

2.9.2 <i>Gaussian Mixture Model</i>	27
2.9.3 <i>Kernel Density Estimation</i>	29
2.10 <i>Mathematical Morphology</i>	29
2.10.1 <i>Translasi</i>	30
2.10.2 <i>Refleksi</i>	30
2.10.3 <i>Dilasi (Dilation)</i>	31
2.10.4 <i>Erosi (Erosion)</i>	32
2.10.5 <i>Deteksi Bidang Batas (Boundary Detection)</i>	33
2.10.6 <i>Opening</i>	33
2.10.7 <i>Closing</i>	34
2.11 <i>Segmentasi</i>	35
2.12 <i>Pelabelan Objek</i>	35
BAB 3	37
METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 <i>Desain Sistem</i>	37
3.2 <i>Data Penelitian</i>	38
3.3 <i>Preprocessing</i>	40
3.4 <i>Background Subtraction</i>	40
3.5 <i>Basic Model</i>	41
3.5.1 <i>Frame Difference</i>	41
3.5.2 <i>Weighted Moving Mean</i>	41
3.5.3 <i>Weighted Moving Variance</i>	41
3.6 <i>Statistical Model</i>	42
3.6.1 <i>Single Gaussian</i>	42
3.6.2 <i>Gaussian Mixture Model</i>	42
3.6.3 <i>Kernel Density Estimation</i>	42
3.7 <i>Morphological Operation</i>	43
3.7.1 <i>Opening Operation</i>	43
3.7.2 <i>Closing Operation</i>	43
3.8 <i>Visualisasi</i>	44
3.9 <i>Validasi</i>	44
3.9.1 <i>Ground Truth Image</i>	44
3.9.2 <i>Receiver Operating Characteristic</i>	45

BAB 4	47
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hasil <i>Preprocessing</i>	47
4.2 Hasil <i>Background Subtraction</i>	48
4.2.1 <i>Frame Difference</i>	49
4.2.2 <i>Weighted Moving Mean</i>	50
4.2.3 <i>Weighted Moving Variance</i>	51
4.2.4 <i>Single Gaussian</i>	52
4.2.5 <i>Gaussian Mixture Model</i>	53
4.2.6 <i>Kernel Density Estimation</i>	54
4.3 Hasil <i>Morphological Operation</i>	55
4.3.1 <i>Frame Difference</i>	56
4.3.2 <i>Weighted Moving Mean</i>	57
4.3.3 <i>Weighted Moving Variance</i>	58
4.3.4 <i>Single Gaussian</i>	59
4.3.5 <i>Gaussian Mixture Model</i>	60
4.3.5 <i>Kernel Density Estimation</i>	61
4.4 Hasil <i>Ground Truth Image</i>	62
4.5 Pengujian Deteksi dan Penghitungan Sperma.....	63
4.5.1 <i>Frame Difference</i>	64
4.5.2 <i>Weighted Moving Mean</i>	65
4.5.3 <i>Weighted Moving Variance</i>	66
4.5.4 <i>Single Gaussian</i>	67
4.5.5 <i>Gaussian Mixture Model</i>	68
4.5.6 <i>Kernel Density Estimation</i>	69
4.6 Hasil Pengujian	70
BAB 5	71
KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Penelitian selanjutnya.....	71
DAFTAR PUSTAKA	73
BIOGRAFI PENULIS	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar sperma yang dipakai dalam penelitian [1] [6] [7] [8] [14].....	8
Gambar 2.2 Hasil segmentasi sperma daalam penelitian [1] [6] [8] [14]	10
Gambar 2.3 Data sperma dengan pembesaran 40x	11
Gambar 2.4 Struktur spermatozoa manusia sebagaimana	12
Gambar 2.5 Abnormalitas <i>spermatozoa</i> manusia	13
Gambar 2.6 <i>Bright field microscope</i> : (a) Prinsip kerja <i>bright field microscope</i> , ..	14
Gambar 2.7 <i>Phase contrast microscope</i>	15
Gambar 2.8 Perbandingan kontras image sel hidup dari dua jenis mikroskop: (a) <i>bright field microscope</i> , (b) <i>phase contrast microscope</i>	16
Gambar 2.9 Histogram, (a) <i>Image spermatozoa</i> , (b) Histogram <i>image</i> tersebut...	17
Gambar 2.10 Distribusi Gaussian 1D	18
Gambar 2.11 Distribusi 2D Gaussian	19
Gambar 2.12 Proses <i>background subtraction</i>	20
Gambar 2.13 Alur proses dari <i>basic model background subtraction</i>	21
Gambar 2.14 Alur diagram dari algoritma <i>Frame Difference</i>	22
Gambar 2.15 Alur diagram dari algoritma <i>Weighted Moving Mean</i>	23
Gambar 2.16 Alur diagram dari algoritma <i>Weighted Moving Variance</i>	24
Gambar 2.17 Alur proses dari <i>statistical model background subtraction</i>	25
Gambar 2.18 Alur diagram dari algoritma <i>Single Gaussian</i>	26
Gambar 2.19 Alur diagram dari algoritma <i>Gaussian Mixture Model</i>	28
Gambar 2.20 Ilustrasi proses Translasi	30
Gambar 2.21 Ilustrasi proses Refleksi	30
Gambar 2.22 Contoh hasil dilasi; (a) Gambar asli, (b) Gambar hasil dilasi.....	32
Gambar 2.23 Contoh hasil erosi; (a) Gambar asli, (b) Gambar hasil erosi.....	32
Gambar 2.24 Hasil <i>opening</i> citra	33
Gambar 2.25 Hasil <i>closing</i> citra.....	34
Gambar 2.26 Sebuah citra biner dan urutan pemberian label pada objek.....	35
Gambar 3.1 Blok diagram sistem.....	37
Gambar 3.2 Gambaran proses pengamatan cairan sperma yang dilakukan di laboratorium mikrobiologi Poltekes Surabaya.....	38
Gambar 3.3 Instrumen penelitian: (a) <i>Bright field microscope</i> yang digunakan, ..	39
Gambar 3.4 Kernel Gaussian 5x5	40
Gambar 3.5 Bentuk struktur element yang digunakan.....	43
Gambar 3.6 Cara untuk membuat <i>ground truth image</i>	45
Gambar 3.7 Ilustrasi pembuatan <i>ground truth image</i>	45

Gambar 4.1 <i>Frame</i> asli dari video sperma	47
Gambar 4.2 <i>Frame</i> setelah proses <i>preprocessing</i>	48
Gambar 4.3 Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Frame Difference</i>	49
Gambar 4.4 Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Weighted Moving Mean</i>	50
Gambar 4.5 Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Weighted Moving Variance</i>	51
Gambar 4.6 Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Single Gaussian</i>	52
Gambar 4.7 Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Gaussian Mixture Model</i>	53
Gambar 4.8 Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Kernel Density Estimation</i>	54
Gambar 4.9 Contoh hasil operasi morfologi	55
Gambar 4.10 Hasil <i>Foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> dari algoritma <i>Frame Difference</i>	56
Gambar 4.11 Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> dari algoritma <i>Weighted Moving Mean</i>	57
Gambar 4.12 Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> dari algoritma <i>Weighted Moving Variance</i>	58
Gambar 4.13 Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> dari algoritma <i>Single Gaussian</i>	59
Gambar 4.14 Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> dari algoritma <i>Gaussian Mixture Model</i>	60
Gambar 4.15 Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> dari algoritma <i>Kernel Density Estimation</i>	61
Gambar 4.16 Hasil gambar <i>ground truth</i>	62
Gambar 4.17 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma <i>Frame Difference</i>	64
Gambar 4.18 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma <i>Weighted Moving Mean</i>	65
Gambar 4.19 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma <i>Weighted Moving Variance</i>	66
Gambar 4.20 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma <i>Single Gaussian</i>	67
Gambar 4.21 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma <i>Gaussian Mixture Model</i>	68
Gambar 4.22 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma <i>Kernel Density Estimation</i>	69
Gambar 4.23 Grafik nilai <i>f-measure</i> dari algoritma yang digunakan	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian sperma sebelumnya	7
Tabel 2.2 Kriteria variabel cairan semen pada ejakulasi normal manusia.....	11
Tabel 2.3 Hasil <i>review background subtraction</i> dari penelitian [13]	20
Tabel 4.1 Hasil pengujian algoritma <i>Frame Difference</i>	64
Tabel 4.2 Hasil pengujian algoritma <i>Weighted Moving Mean</i>	65
Tabel 4.3 Hasil pengujian algoritma <i>Weighted Moving Variance</i>	66
Tabel 4.4 Hasil pengujian algoritma <i>Single Gaussian</i>	67
Tabel 4.5 Hasil pengujian algoritma <i>Gaussian Mixture Model</i>	68
Tabel 4.6 Hasil pengujian algoritma <i>Kernel Density Estimation</i>	69
Tabel 4.7 Hasil <i>precision, recall, dan f-measure</i>	70

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyebab yang mempengaruhi infertilitas (kemandulan) pada pasangan bukan hanya adanya kelainan pada wanita, pria juga mempunyai peranan dalam hal ini. Beberapa karakteristik yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat infertilitas pada pria adalah dengan menganalisa struktur dan bentuk (morfologi) sperma, pergerakan dari sperma (mortalitas), dan jumlah kepadatan sperma yang terdapat pada cairan *semen*. Pengujian tentang infertilitas sperma yang umum dilakukan sekarang ini adalah uji lab yang dilakukan oleh seorang ahli dengan menggunakan mikroskop. Penilaian ditentukan secara subjektif dengan pengamatan oleh para ahli berdasarkan parameter – parameter yang ada. Penelitian tentang analisa infertilitas sperma terus dikembangkan. Tahap awal yang penting pada penelitian infertilitas sperma adalah fase pendeteksian sperma atau memisahkan objek sperma dari gambar / video yang didapat dari hasil pengamatan pada cairan semen. Tingkat keberhasilan dalam memisahkan objek sperma dari cairan semen memiliki peran penting untuk proses analisa selanjutnya dari objek sperma.

Background subtraction merupakan proses yang dapat digunakan untuk memisahkan objek bergerak (*foreground*) dan *background* pada video. *Background subtraction* paling banyak digunakan dalam kasus *video-surveillance*, karena perlunya pemisahan objek lain seperti orang, kendaraan, hewan, atau objek yang lainnya sebelum dilakukan proses lebih lanjut [19]. Dengan menggunakan proses *background subtraction*, kita dapat mendeteksi sperma yang bergerak dalam video. Beberapa penelitian tentang deteksi sperma telah dilakukan [1] [11] [12] [16] [18]. Penelitian [1] melakukan deteksi sperma, menghitung jumlah sperma, dan *tracking* sperma pada video. Penelitian [1] menggunakan algoritma *frame difference* pada proses *background subtraction* untuk melakukan deteksi sperma. Penelitian [11] berfokus pada pendeteksian ekor sperma. Penelitian [11] tidak menggunakan *background subtraction* untuk mendeteksi sperma, sperma dideteksi secara manual

oleh *operator* dengan memilih daerah (ROI) kepala sperma dari data yang ada. Lokasi kepala sperma ini yang menjadi acuan untuk menentukan posisi dari ekor sperma. Penelitian [12] melakukan deteksi sperma berdasarkan konturnya. Penelitian ini menggunakan algoritma *Gaussian Modelling* untuk melakukan segmentasi *foreground*, sperma dianggap sebagai *foreground* karena terus bergerak pada video frame pada data penelitian. Pada penelitian [16], peneliti mengusulkan metode *Gaussian Mixture Model* yang diperbaiki menggunakan *Hole Filling Algorithm* dalam proses pendeteksian sperma. Metode yang diusulkan ini kemudian dibandingkan dengan 6 metode untuk mendeteksi pergerakan lainnya. Untuk memisahkan *background* dari gambar, pada penelitian [18] menggunakan algoritma *adaptive temporal median filter*, dengan algoritma ini peneliti berhasil memisahkan *background* dan mendapatkan gambar *foreground* yang merupakan gambar dari objek sperma yang bergerak. Penelitian [20] melakukan tinjauan lengkap terhadap proses *background subtraction*. Menurut [20], secara garis besar proses *background subtraction* dapat dibagi berdasarkan basis metode yang digunakan. Pembagian tersebut yaitu: *Basic methods, Fuzzy based method, Statistical method, Type-2 Fuzzy based methods, Statistical methods using color and texture features, Non-parametric methods, Method based on eigenvalues and eigenvectors, Neural and neuro-fuzzy methods*.

Dari referensi yang ada [14] dan hasil pengamatan data sperma yang telah dilakukan, terdapat beberapa tantangan dalam mendeteksi sperma pada cairan semen yaitu:

1. *Objek background yang bergerak*. Berdasarkan hasil pengamatan yang kami lakukan, sperma yang mati (tidak mempunyai pergerakan) memiliki kemungkinan untuk bergerak dan berpindah tempat, karena sperma yang mati tersebut berada dilajur dari sperma yang sehat (yang memiliki pergerakan) sehingga sperma yang mati akan terdorong dan berpindah tempat dari lokasi semula.
2. *Adanya objek baru yang dianggap sebagai background*. Sperma yang mati dan awalnya berada diluar jarak pandang kamera, dapat masuk ke daerah jarak pandang kamera karena terdorong oleh pergerakan sperma yang sehat.

Dalam penelitian ini, dilakukan deteksi dan penghitungan sperma manusia. Data yang digunakan didapat dari 20 relawan yang memang bersedia untuk menyumbangkan spermanya. Sperma diamati menggunakan mikroskop berjenis *bright field* dengan pembesaran sebesar 40x kemudian direkam menggunakan kamera *Point Grey* dengan tipe FL3-U3-13S2C-CS. Data yang diamati disimpan kedalam bentuk video dengan ekstensi avi, video ini memiliki frekuensi sebesar 60 fps. Karena pergerakan sperma merupakan salah satu parameter untuk mengukur tingkat infertilitas maka, sperma yang dideteksi dalam penelitian ini adalah sperma yang bergerak. Untuk dapat mendeteksi sperma yang bergerak, penelitian ini menggunakan metode *background subtraction* dengan algoritma *single gaussian*, Penelitian ini juga mencoba algoritma *background subtraction* lain sebagai pembandingan, sehingga dapat disimpulkan algoritma *background subtraction* yang sesuai pada kasus deteksi sperma yang bergerak.

Beberapa keuntungan dari melakukan proses *background subtraction* pada kasus deteksi sperma adalah sebagai berikut:

1. *Gambar background yang mempunyai karakteristik uni-modal.* Dengan karakteristik yang uni-modal, maka akan mudah untuk mendeteksi piksel pada gambar yang tergolong sebagai *background* dan piksel yang tergolong sebagai *foreground*.
2. *Jarak antar frame yang singkat.* Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah video yang memiliki *frame rate* sebesar 60. Karena data yang digunakan dapat menggambarkan keadaan yang lebih akurat dari kondisi pada cairan sperma, maka penggolongan piksel sebagai *background* maupun *foreground* juga menjadi lebih akurat.
3. *Tidak ada pengaruh perubahan cahaya.* Sumber cahaya pada data yang digunakan berasal dari mikroskop. Sehingga pada kasus deteksi dan perhitungan sperma ini, tidak ada pengaruh perubahan pencahayaan dari waktu ke waktu seperti pada kasus *video surveillance*.

Hasil dari proses deteksi dan perhitungan sperma dalam penelitian akan dibandingkan dengan hasil pengamatan manual menggunakan *Ground Truth Image* sehingga dapat diketahui akurasi dari setiap algoritma yang digunakan. Penelitian ini memberikan kontribusi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisa tingkat infertilitas sperma dalam menentukan algoritma yang tepat untuk melakukan deteksi dan perhitungan sperma.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian tentang tingkat infertilitas sperma manusia, melakukan deteksi dan perhitungan sperma merupakan proses awal yang penting, karena hasil dari proses ini menjadi penentu terhadap proses analisa sperma. Sperma yang nantinya berhasil membuahi sel telur adalah sperma yang terus bergerak. Sehingga untuk dapat mendeteksi dan menghitung sperma yang terus bergerak ini, dibutuhkan suatu metode yang tepat/sesuai dengan karakteristik yang terdapat pada kasus sperma ini. Data cairan semen yang cenderung memiliki karakteristik uni-modal, ada objek *background* yang bergerak, dan adanya objek baru yang dianggap sebagai *background* merupakan tantangan tersendiri melakukan deteksi sperma pada cairan semen. Pergerakan sperma yang aktif dapat mencapai 5 kali lipat dari ukuran kepalanya. Maka dari itu untuk dapat merepresentasikan pergerakan sperma yang lebih akurat, *sampling rate* yang sesuai pada data video yang digunakan adalah sebesar ± 50 *fps*. Sampai saat ini, belum ada penelitian tentang sperma yang menggunakan data video rekaman cairan semen dengan *sampling rate* sebesar yang dibutuhkan (± 50 *fps*).

1.3 Batasan Masalah

1. Metode *background subtraction* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Basic Method (Frame Difference, Weighted Moving Mean, dan Weighted Moving Variance)*, *Statistical Method (Single Gaussian, Gaussian Mixture Model, dan Kernel Density Estimation)*.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hasil pengamatan cairan sperma dari relawan yang diamati menggunakan *bright field microscope* dengan pembesaran lensa sebesar 40x dan direkam menggunakan kamera *Point Grey* dengan tipe FL3-U3-13S2C-CS dimana

hasil videonya memiliki resolusi 1280 x 960 dengan *frame rate* sebesar 60 fps.

3. Sperma yang dideteksi hanya sperma yang bergerak baik itu sperma dengan *progressive motility* atau *non-progressive immotility*. Sperma yang tidak bergerak (*immotility*) tidak akan terdeteksi dalam penelitian ini.
4. Penelitian hanya mencakup deteksi dan perhitungan sperma yang bergerak. Penggolongan kecepatan pergerakan sperma dan jalur dari pergerakan sperma tidak diamati dalam penelitian ini.
5. Objek sperma yang terlihat menumpuk pada data karena terjadi tabrakan pada saat sperma bergerak dianggap sebagai satu objek sperma.
6. Hasil dari deteksi sperma akan dibandingkan dengan *ground truth image* yang didapat dari pengamatan manual. Perbandingan hasil dilakukan sebanyak 10x dengan mengambil hasil deteksi pada setiap 30 *frame* dari video, sehingga membentuk urutan *frame*: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, dan 300. Hasil tersebut dianalisa menggunakan *ROC Analysis* untuk mendapatkan nilai akurasi dari setiap metode yang digunakan dalam deteksi sperma.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan algoritma *single gaussian* pada proses *background subtraction* untuk mendeteksi dan menghitung sperma yang bergerak pada video mikroskopik cairan sperma. Penelitian ini juga membandingkan beberapa algoritma *background subtraction* lainnya sehingga dapat disimpulkan algoritma *background subtraction* yang sesuai untuk kasus deteksi sperma dan perhitungan sperma. Penelitian ini memberikan kontribusi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan analisa tingkat infertilitas sperma dalam menentukan algoritma yang tepat untuk melakukan deteksi dan perhitungan sperma.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai penjelasan penelitian yang digunakan sebagai acuan serta teori – teori yang menunjang dalam menyelesaikan penelitian.

2.1 State of the art

Tabel 2.1 Penelitian sperma sebelumnya

Penelitian	Preprocessing	Moving Object Detection		Post Processing	Data
		Based Method	Algorithm		
[1]	Laplacian filter, Median filter	Basic Method	Frame Difference	Dilate, Erode	Video semen
[6]	Median filter	-	-	-	Stained Slide Image of semen
[7]	-	Manual Detection	-	-	10 video (30 fps), 20x magnification, 5 with SpermCatch
[8]	Gaussian filter	Statistical Method	Gaussian Background Modelling	Closing, Opening, Dilate	Microscopic video
[10]	-	Statistical Method	Gaussian Mixture Model	Hole Filling Algorithm	Video sperm from kokopelli technology, 400x Magnification
[13]	Gaussian filter	Basic Method	Adaptive Temporal Median Filter	-	Video sperm (30 fps)

Beberapa penelitian telah melakukan penelitian terhadap sperma manusia [1] [6] [7] [8] [10] [14]. Ringkasan lengkap penelitian tentang sperma dapat dilihat pada Tabel 2.1. Penelitian [1] melakukan pendeteksian, penghitungan, dan *tracking* pada video sperma. Untuk dapat mendeteksi objek yang bergerak – dalam kasus penelitian ini adalah spermatozoa – dalam penelitian ini digunakan metode *frame differencing* yaitu dengan mencari perbedaan nilai piksel antara frame sekarang dengan beberapa frame sebelumnya. Metode ini termasuk dalam penggolongan *basic method* dalam proses *background subtraction*. Metode ini dipilih karena

merupakan metode yang paling sederhana, memiliki beban komputasi yang rendah dan langsung tepat pada sasaran karena langsung dapat mendeteksi perubahan piksel dari gambar sebelumnya. Dengan cara seperti ini, hasil yang didapatkan dari deteksi objek bergerak, nilai akurasi paling tinggi sebesar 94% dan terendah 90% dengan nilai error tertinggi 10% terendah 6%. Gambar tentang sperma manusia yang digunakan dalam penelitian yang telah dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gambar sperma yang dipakai dalam penelitian [1] [6] [7] [8] [14]

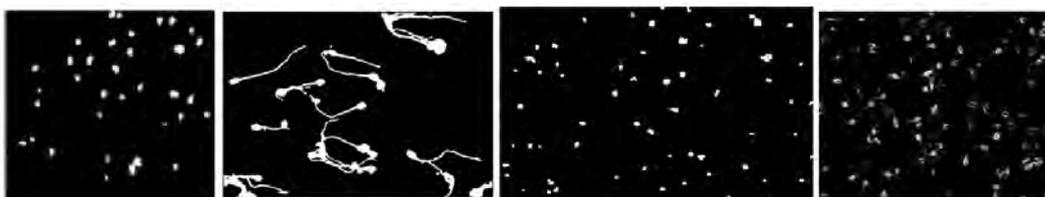
Penelitian [6] melakukan klasifikasi spermatozoa manusia menggunakan aturan fuzzy. Penelitian [6] melakukan klasifikasi bentuk dari kepala, leher, dan ekor sperma. Pada penelitian [6] data sperma yang dipakai berupa gambar yang telah diberi cairan khusus (*stained slide*), sehingga sperma dalam gambar dapat memiliki warna yang berbeda dengan gambar latar belakangnya – gambar sperma dalam penelitian [6] ini terlihat pada Gambar 2.1. Pendeteksian sperma dilakukan dengan cara mengkonversi gambar warna menjadi gambar *grayscale*, dihilangkannya *noise* menggunakan *median filter*, kemudian gambar dikonversi menjadi *binary image*, dengan cara ini bentuk dari semua bagian sperma telah dapat terdeteksi secara utuh. Penelitian [7] berfokus pada mendeteksi pergerakan bagian ekor dari sperma. Penelitian [7] tidak menggunakan proses *background subtraction* untuk mendeteksi sperma. Pendeteksian sperma dilakukan dengan cara manual yaitu, daerah dari kepala sperma pada gambar dideteksi menggunakan *mouse* oleh operator, kemudian lokasi dari kepala tersebut dijadikan acuan untuk melakukan perhitungan daerah posisi ekor sperma atau yang dalam penelitian [7] disebut *sperm tail region of interest* (STROI). Metode tacking yang digunakan dalam penelitian [7] adalah *Maximum Intensity Region* (MIR) dan *Optical Flow* (OF) Penelitian [7] menggunakan video dengan pembesaran 20x yang diambil menggunakan *bright field microscope*. Terdapat 10 data video (dengan 30 fps) yang diamati dalam

penelitian [7] ini. Dari 10 video tersebut, 5 video diantaranya ditambahkan cairan *SpermCatch* dan sisanya tidak ditambahkan cairan apapun. Cairan *SpermCatch* yang ditambahkan bertujuan untuk memperlambat pergerakan dari sperma. Sehingga dapat dilakukan perbandingan terhadap hasil *tracking* yang digunakan dalam penelitian [7] ini.

Penelitian [8] melakukan pendeteksian sperma manusia secara otomatis pada video hasil pengamatan dari mikroskop berbasis *opencv*. Pertama, dilakukan operasi *Gaussian filter* untuk mengurangi *noise* yang muncul dalam video. Kemudian dilakukan segmentasi *foreground*, untuk memisahkan sperma yang bergerak dengan objek lain yang ada di dalam *frame* video. Proses segmentasi ini menggunakan *Gaussian Background Modelling* untuk mengetahui bagian mana yang berubah pada video, dan bagian mana yang tidak. Bagian yang berubah dianggap sebagai sperma yang bergerak, dan bagian yang tidak berubah merupakan bagian *background* dalam video dimana didalam *background* ini mungkin saja terdapat objek sperma yang tidak bergerak ataupun *noise*. Hasil dari proses segmentasi adalah nilai pixel yang merupakan representasi dari sperma yang bergerak, namun bentuk sperma tidak dapat tergambarkan secara utuh, sering kali terpisah menjadi dua bagian atau lebih. Untuk mengatasi hal ini, *morphological operation* dilakukan. *Closing operation*, *Opening operation*, dan dilasi diaplikasikan pada gambar hasil segmentasi secara berturut – turut. Setelah itu, sperma yang bergerak dideteksi berdasarkan kontur nya. Hasil dari penelitian ini adalah diperoleh akurasi tertinggi dari deteksi objek sperma sebesar 98.8% dan nilai *error* terbesar adalah 6.5%.

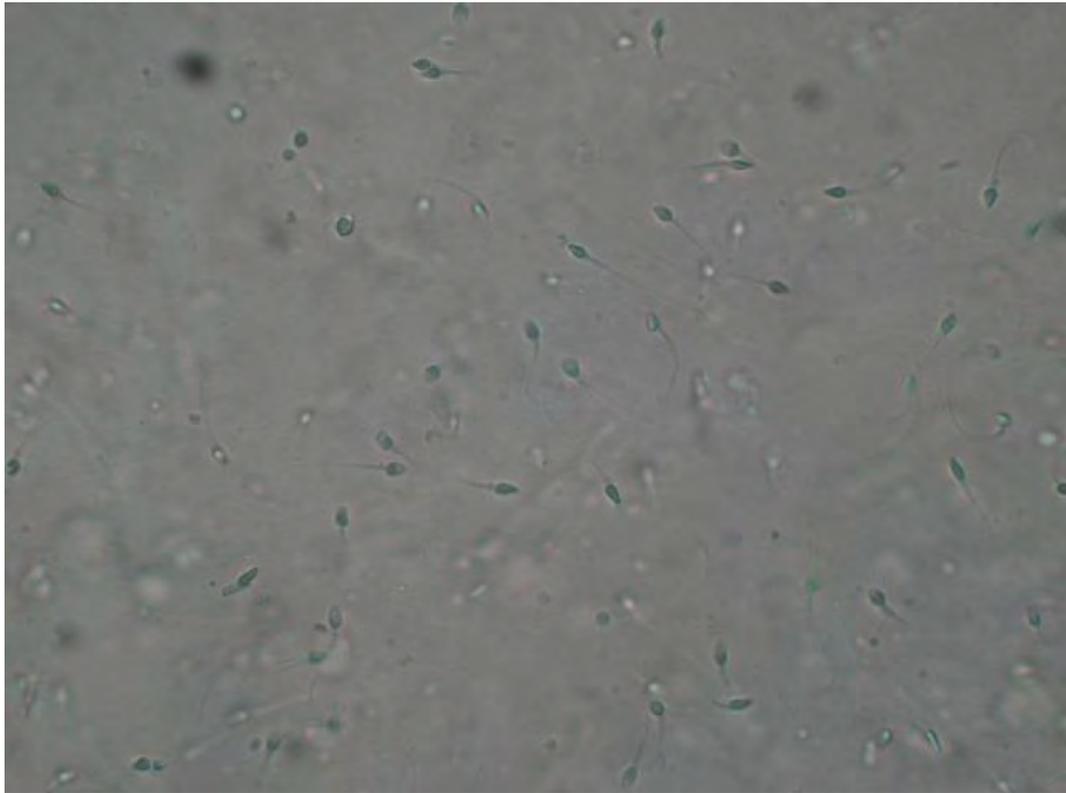
Pada penelitian [10], para peneliti menerapkan metode dalam penelitian mereka sebelumnya pada kasus deteksi sperma. Metode yang diajukan adalah perbaikan hasil dari metode *Gaussian Mixture Model* dengan algoritma *Hole Filling*. Jika dilihat hasil dari metode yang mereka ajukan GMMHF, hasil dari metode HF tidak jauh berbeda dengan *Post Processing* menggunakan *Morphological Operation*. Dengan menggunakan metode HF, *noise* dari proses GMM dapat dihilangkan dan akan menutup “lubang” pada objek dari hasil *background subtraction* menggunakan GMM. Dari kesimpulan dalam penelitian ini, hasil dari metode yang diajukan memang memiliki nilai Kappa yang lebih besar

dari metode GMM milik Grimson dan Stauffer, tetapi peneliti menyatakan metode yang diajukan mempunyai nilai komputasi yang lebih rendah. Data yang video yang dipakai dalam penelitian [10] merupakan video yang disediakan oleh kokopelli technology. Penelitian [14], menggunakan algoritma *adaptive temporal median filter* untuk memisahkan *background* dari *frame* video. Penelitian [14] menggunakan video dengan 30 fps. Para peneliti dalam [14] menyadari bahwa dengan video yang memiliki 30 fps hasil pergerakan sperma tidak terekam dengan halus. Untuk mengatasi hal ini, para peneliti memanfaatkan *filter gaussian temporal*. Hasil segmentasi dari penelitian [1] [6] [8] [14] dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Hasil segmentasi sperma dalam penelitian [1] [6] [8] [14]

Dalam penelitian ini, akan diaplikasikan *moving object detection method* (*background subtraction: basic method, statistical method*) [13] pada kasus pendeteksian sperma dengan tujuan untuk mengetahui metode yang tepat (yang memiliki nilai akurasi paling tinggi) dalam kasus mendeteksi sperma yang bergerak pada video hasil rekaman pengamatan cairan sperma. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan video cairan sperma (*microscopic video*) yang memiliki 60 fps, video ini merupakan hasil rekaman dari pengamatan cairan sperma yang diambil menggunakan *bright field microscope* dengan pembesaran 40x. *Raw data* seperti ini belum ditemukan dalam penelitian – penelitian sebelumnya. Cairan sperma yang diamati berasal dari relawan yang memang bersedia untuk menyumbangkan cairan spermanya. Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Data sperma dengan pembesaran 40x

2.2 Dasar Spermatologi

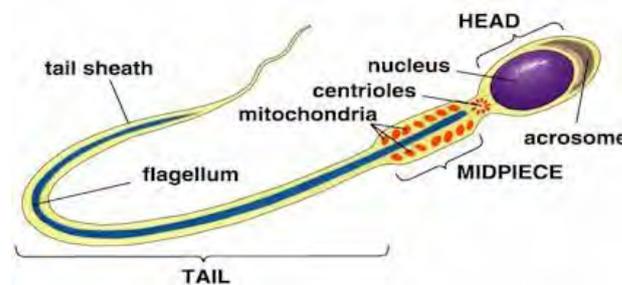
Semen merupakan hasil sekresi kelamin jantan secara normal yang diejakulasikan pada saat perkawinan. Semen terdiri dari dua bagian yaitu plasma seminalis dan *spermatozoa* atau sel kelamin jantan (Hardijanto dkk, 2010). Pada manusia volume semen yang diejakulasikan secara normal sekitar 2-6 ml dengan *pH* antara 7,2-7,6. Tabel 2.2 menyajikan komposisi cairan semen untuk tiap kali ejakulasi normal pada manusia.

Tabel 2.2 Kriteria variabel cairan semen pada ejakulasi normal manusia

Kriteria	Nilai normal
Volume	2-6 ml
Warna	Putih keabu-abuan
Bau	Seperti buah kastanye
Kekentalan relatif	0-5 mm
pH	7,2-7,6
Sel darah merah	Tidak ada
Sel darah putih	≤ 1 juta/ml
Penggumpalan	Tidak ada
Konsentrasi	≥ 20 juta/ml
Motilitas	> 50%
Motilitas maju dan cepat	≥ 25%
Sperma hidup	≥ 75%

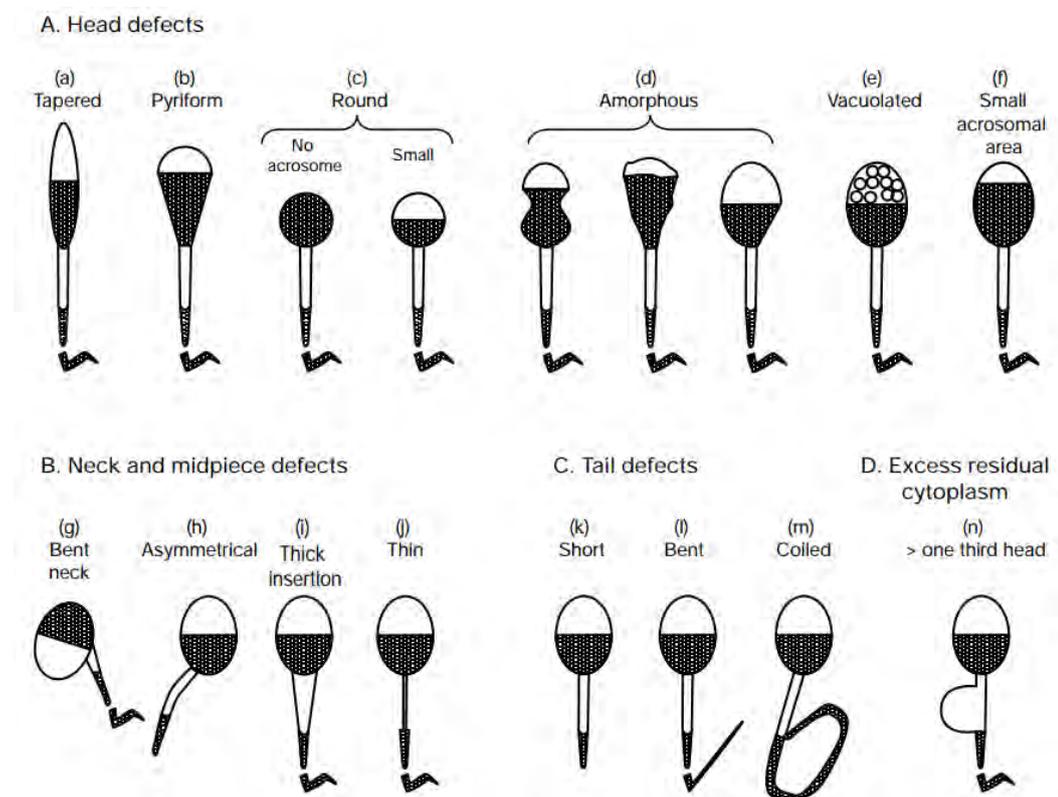
Sumber : WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen, 2010

Spermatozoa atau *sperm cell* merupakan sel haploid (n) yang dibentuk di dalam tubulus seminiferus dari gamet jantan melalui proses kompleks yang disebut spermatogenesis (Hayati, 2010). Spermatozoa tersusun oleh bagian-bagian kepala (*head*), leher (*connecting piece*) dan ekor (*tail*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Bagian kepala terdiri dari inti dan akrosom yang dilindungi oleh membran sel, sedangkan bagian ekor dibedakan menjadi bagian utama (*middle piece*), bagian tengah (*principle piece*) dan bagian pangkal (*end piece*). Sperma manusia normal memiliki panjang antara 40 μm hingga 250 μm (Abbiramy dkk, 2010).



Gambar 2.4 Struktur spermatozoa manusia sebagaimana dikutip dari <http://www.proceptin.com/phc/sperm-cell.php>

Pada umumnya setiap penyimpangan morfologi dari struktur *spermatozoa* yang normal dipandang sebagai abnormal. Abnormalitas *spermatozoa* dapat diidentifikasi menjadi dua, yaitu abnormalitas primer dan sekunder. Abnormalitas primer disebabkan karena kelainan spermatogenesis sejak berada di dalam tubuli seminiferi atau epitel. Sedangkan abnormalitas sekunder terjadi sesudah *spermatozoa* meninggalkan tubuli seminiferi, selama perjalanannya melalui epididymis, ejakulasi, manipulasi, pemanasan, pendinginan yang terlalu cepat, kontaminasi dengan air, urin atau antiseptika (Hardijanto dkk, 2010). Gambar 2.5 menunjukkan skema dari beberapa bentuk abnormalitas pada *spermatozoa* manusia.



Gambar 2.5 Abnormalitas *spermatozoa* manusia
(Sumber: WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen, 2010)

Abnormalitas primer meliputi kepala terlampau besar (*macrocephalic*), kepala terlampau kecil (*microcephalic*), kepala pendek melebar, pipih memanjang, piriformis, kepala rangkap, ekor berganda, bagian melipat, membengkok, membesar, bertaut abaxial pada pangkal kepala, ekor melingkar, putus, terbelah.

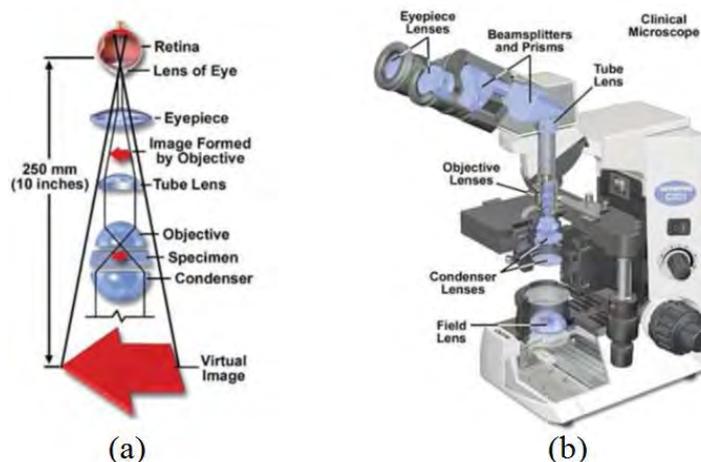
Abnormalitas sekunder termasuk ekor yang putus, kepala tanpa ekor, bagian tengah yang melipat, adanya butiran protoplasma proksimal atau distal dan akrosom terlepas. Identifikasi tersebut tidak mutlak dan tidak mempunyai batas yang jelas, karena spermatozoa tanpa ekor dapat pula disebabkan oleh gangguan patologik, aplikasi panas dan dingin pada testis atau defisiensi makanan dan beberapa abnormalitas spermatozoa yang bersifat genetik (Hardijanto dkk, 2010).

2.3 Mikroskop Optik

Mikroskop Optik adalah mikroskop yang menggunakan cahaya yang bisa dilihat mata sebagai sumber cahaya. Mikroskop optik yang tergolong paling sederhana adalah *bright field mikroskop*. Sedangkan mikroskop optik yang khusus dibuat untuk meningkatkan kontras dan memiliki kontras yang paling tinggi adalah *phase contrast microscope*.

2.3.1 Bright Field Microscope

Bright field microscope bekerja dengan menyinari *specimen* dengan cahaya yang berasal dari bawah *specimen*. Objek pada *specimen* kemudian diperbesar oleh dua buah lensa berturut-turut yaitu *objective lens* dan *eyepiece lens*, sehingga total pembesaran yang dihasilkan adalah sebesar perkalian dari pembesaran kedua lensa tersebut. Prinsip kerja ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Bright field microscope*: (a) Prinsip kerja *bright field microscope*, (b) Irisan *bright field microscope*. (Mortimer Abramowitz (2003), “Microscope basic and beyond”, revised edition 2003, Fellow New York Microscopical Society, New York)

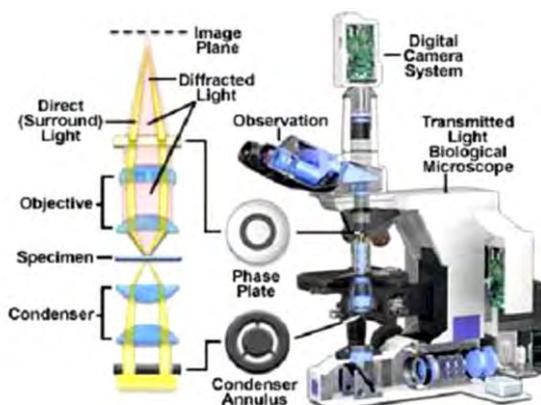
Pada Gambar 2.6 terdapat beberapa lensa tambahan dengan fungsi sebagai berikut:

- (a) *Tube lens*, berfungsi untuk meneruskan cahaya parallel yang berasal dari *objective lens*, dan untuk memfokuskan *image* pada level diafragma dari *eyepiece lens*.
- (b) Pada irisan mikroskop terdapat *condenser lens* yang sebenarnya bukan komponen utama, berfungsi sebagai koreksi optik.

Distorsi yang umum terjadi pada mikroskop adalah *chromatic aberration* dan *spherical aberration* yang cenderung menyebabkan objek yang diamati tidak bisa terfokus dengan baik. Semakin tinggi kualitas optik, koreksi atas kedua distorsi ini semakin baik sehingga *image* menjadi semakin jelas. Dengan *bright field illumination*, kekонтaran *image* dari *bright field microscope* berasal dari penyerapan cahaya dari *specimen*. Mikroskop jenis ini memiliki kelemahan pada kontras yang rendah sehingga umumnya dibutuhkan pewarna khusus yang dicampurkan pada *specimen* agar objek yang diamati terlihat dengan jelas.

2.3.2 Phase Contrast Microscope

Beberapa jenis mikroskop optik telah dibuat untuk mengatasi kelemahan *bright field microscope* dalam hal kontras yang rendah, di antaranya adalah *differential interference contrast*, *Hoffman modulation contrast microscope*, dan yang terbaik adalah *phase contrast microscope*. Gambar 2.7 memperlihatkan komponen utama *phase contrast microscope*, terlihat bahwa ada penambahan *transparent phase plate* yang berfungsi untuk meningkatkan pergeseran fase menjadi setengah panjang gelombang.

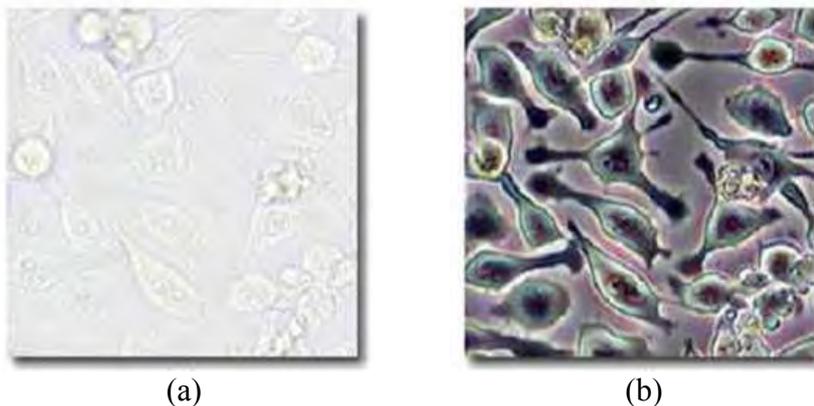


Gambar 2.7 *Phase contrast microscope*

(<http://www.microscopyu.com/articles/phasecontrast/phasemicroscopy.html>)

Prinsip kerja *phase contrast microscope* memanfaatkan fakta bahwa gelombang cahaya yang melalui bagian transparan dari *specimen* merambat lebih lambat dibandingkan dengan cahaya bebas, sehingga terjadi pergeseran fase. Pergeseran fase ini tidak terlihat oleh mata manusia. Namun perbedaan fase ini dapat ditingkatkan menjadi setengah panjang gelombang dengan menggunakan *transparent phase-plate* dalam mikroskop sehingga mengakibatkan terjadinya perbedaan *brightness*. Hal ini menyebabkan objek yang transparan menjadi jelas terlihat.

Phase contrast microscope umum digunakan untuk mengamati objek transparan yang tidak berwarna karena memiliki kontras yang jauh lebih tinggi. Gambar 2.8 memperlihatkan perbandingan sel hidup dilihat dengan *bright field microscope* dan *phase contrast microscope*.



Gambar 2.8 Perbandingan kontras image sel hidup dari dua jenis mikroskop: (a) *bright field microscope*, (b) *phase contrast microscope*

2.4 Histogram

Histogram berperan penting dalam pengolahan *image* seperti *enhancement*, *segmentation*, dan *description*. Histogram sebuah *image* dengan level intensitas pada range $[0, L-1]$ adalah fungsi diskrit :

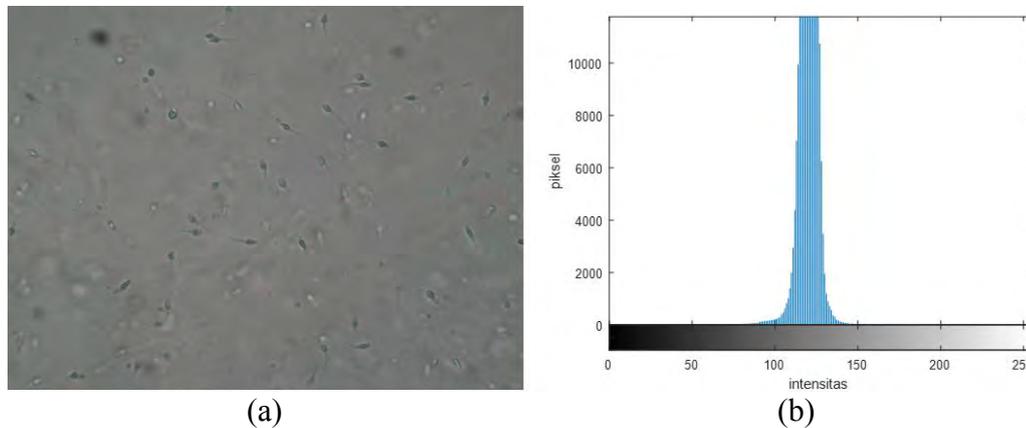
$$h(r_k) = n_k \quad , \quad k = 1, 2, 3, \dots L-1 \quad (2.1)$$

Di mana r_k adalah intensitas ke- k dan n_k adalah jumlah piksel dalam *image* yang dinyatakan oleh MN dengan M dan N adalah ukuran baris dan kolom *image*.

Normalisasi histogram diberikan oleh persamaan :

$$p(r_k) = \frac{n_k}{MN} \quad , \quad k = 1, 2, 3, \dots L-1 \quad (2.2)$$

Terlihat bahwa $p(r_k)$ merupakan probabilitas dari jumlah satu level intensitas r_k dalam *image*. Jika semua probabilitas $p(r_k)$ dijumlahkan maka hasilnya adalah 1. Gambar 2.9 adalah contoh *image* dari *spermatozoa* manusia beserta histogramnya.



Gambar 2.9 Histogram, (a) *Image spermatozoa*, (b) Histogram *image* tersebut

Pada Gambar 2.9.b, sumbu horizontal menunjukkan nilai dari *gray level* sedangkan sumbu vertikal menunjukkan jumlah kemunculan *gray level* tersebut yaitu $h(r_k) = n_k$ atau jika dinormalisasi menjadi $p(r_k) = n_k.MN$.

Dari diagram terlihat bahwa jika histogram digeser ke kiri maka *image* akan menjadi lebih gelap, jika digeser ke kanan maka *image* akan menjadi lebih terang. Sedangkan jika dimekarkan ke kiri maupun kanan maka kontras dari *image* akan meningkat.

Cara lain untuk meningkatkan kontras adalah melakukan ekualisasi histogram di mana distribusi histogram dibuat semerata mungkin di seluruh rentang nilai intensitas, yang diberikan melalui transformasi sebagai berikut:

$$h'(r_k) = (L-1) \sum_{n=0}^k p_n \quad (2.3)$$

2.5 Citra Biner (*Binary Image*)

Gambar digital adalah sebuah *array* angka atau intensitas citra yang tersampling (Alan Bovic, 2009). Setiap tingkat keabuan terkuantisasi satu dari himpunan berhingga yang direpresentasikan dengan bit. Dalam citra biner (*binary image*) hanya terdapat satu bit untuk setiap piksel yang mengimplikasikan dua kemungkinan nilai tingkat keabuan yaitu 0 dan 1. Dua nilai ini biasanya diinterpretasikan sebagai *Boolean*, dimana setiap piksel bernilai *true* atau *false*. Nilai ini mengindikasikan keberadaan suatu properti citra yang terhubung dengan

tingkat keabuan, citra dengan ukuran yang sama dimana '1' pada suatu koordinat mengindikasikan adanya properti pada tingkat keabuan citra pada koordinat tersebut. Sedangkan '0' pada suatu koordinat mengindikasikan tidak adanya properti pada tingkat keabuan citra pada koordinat tersebut. Properti citra ini merupakan tingkat kecerahan (*brightness*) intensitas tinggi atau rendah. Biasanya, ditampilkan menggunakan dua warna ekstrim yaitu hitam dan putih yang direpresentasikan dengan 0 dan 255 pada lingkungan *grayscale* (Alan Bovic, 2009).

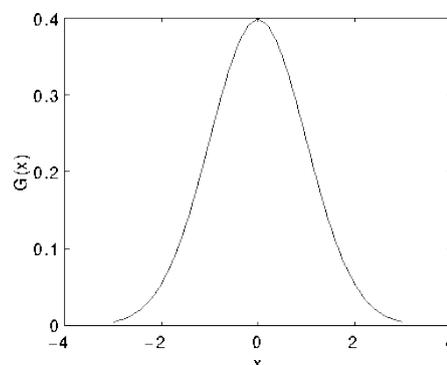
Nilai *gray level* 0 secara umum menggunakan '1' untuk merepresentasikan 'hitam', sedangkan nilai *gray level* 255 secara umum menggunakan '0' untuk merepresentasikan 'putih'. Citra biner (*binary image*) dapat diperoleh dengan berbagai cara. Umumnya dibentuk dari tingkat keabuan citra untuk mempermudah pemrosesan. Akan tetapi, beberapa jenis sensor dapat secara langsung menghasilkan citra biner (*binary image*)

2.6 Gaussian Filter

Gaussian filter digunakan untuk mensamarkan gambar, sehingga *noise* yang terdapat pada gambar dan detail dari gambar akan berkurang. Pada satu dimensi, fungsi Gaussian yang digunakan dapat ditulis sebagai berikut:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2.4)$$

Dimana σ adalah standard deviasi dari distribusi, dan distribusi yang digunakan diasumsikan mempunyai nilai mean = 0. Sehingga jika digambarkan, distribusi Gaussian yang digunakan terlihat seperti pada Gambar 2.10.

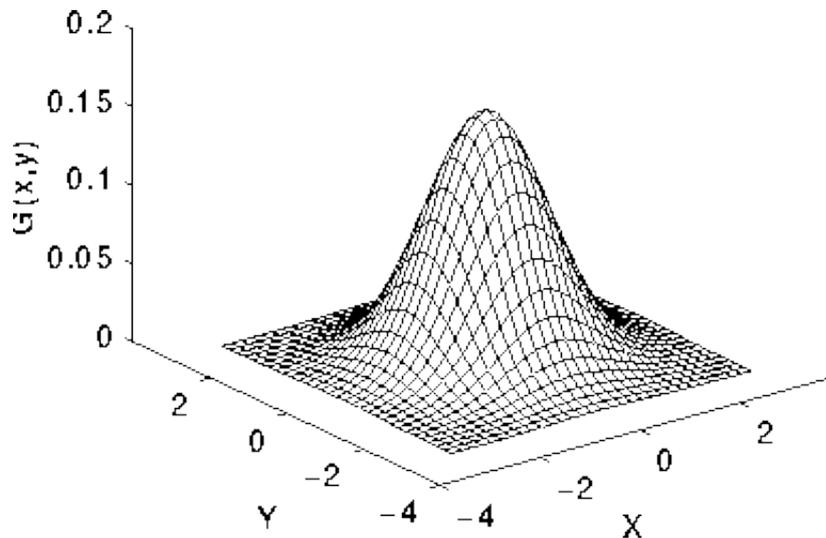


Gambar 2.10 Distribusi Gaussian 1D
(<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>)

Jika diaplikasikan pada gambar, maka dibutuhkan 2D (dimensi) distribusi Gaussian. Sehingga ada 2 distribusi 1D Gaussian yang digunakan, masing – masing untuk sumbu x dan sumbu y. Persamaan untuk 2D distribusi Gaussian dapat ditulis sebagai berikut:

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.5)$$

Bentuk dari distribusi 2D Gaussian dengan nilai mean (0,0) dan standard deviasi sebesar 1, dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Distribusi 2D Gaussian
(<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>)

Gaussian filter bekerja dengan menggunakan distribusi 2D Gaussian diatas sebagai fungsi titik sebar. Hal ini dilakukan dengan mengkonvolusi fungsi 2D Gaussian dengan gambar. Diperlukan pendekatan secara diskrit untuk fungsi Gaussian yang digunakan.

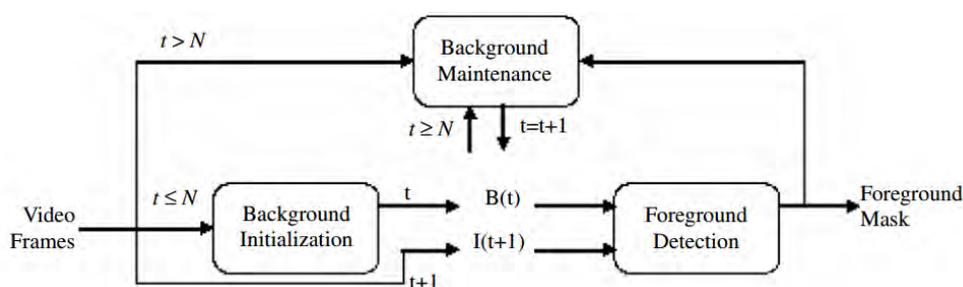
2.7 Background Subtraction

Background subtraction adalah teknik yang digunakan untuk mendeteksi *foreground mask* (istilah untuk *binary image* yang berisikan informasi tentang objek bergerak dalam *frame*) dalam rekaman video ataupun hasil tangkapan kamera. Teknik ini banyak dan umum digunakan dalam bidang *image processing* ataupun *computer vision*. *Foreground mask* didapatkan dengan cara menghitung

perbedaan nilai antara *current frame* dari video dengan *background model*. Proses dari *background subtraction* digambarkan pada Gambar 2.12.

Berikut adalah langkah – langkah umum dalam proses *background subtraction*:

1. Inisialisasi awal *background* dari N frames untuk mendapatkan model *background* awal (gambar tanpa adanya objek bergerak)
2. Deteksi *foreground* (objek yang bergerak) dilakukan dengan cara membandingkan gambar *background* dengan gambar *frame* saat ini
3. Proses *background maintenance* dilakukan secara terus menerus untuk memperbarui gambar yang dianggap sebagai *background*
4. Langkah 2 dan langkah 3 diulang sampai proses berakhir



Gambar 2.12 Proses *background subtraction*

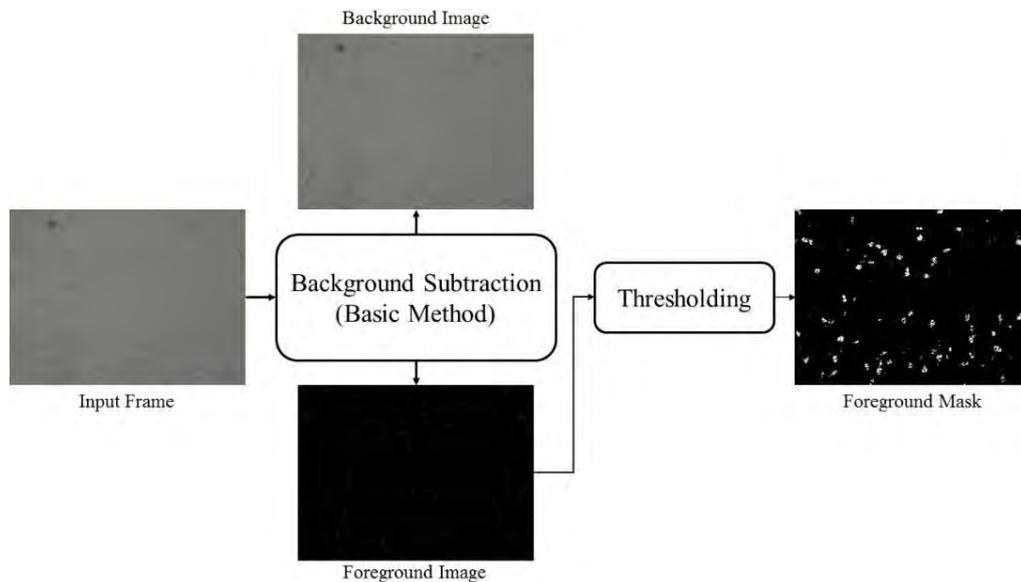
Menurut [12], secara garis besar proses *background subtraction* dapat dibagi berdasarkan basis metode yang digunakan. Pembagian tersebut yaitu: *Basic methods, Fuzzy based method, Statistical method, Non-parametric methods, Method based on eigenvalues and eigenvectors, Neural and neuro-fuzzy methods*. Bahasan selanjutnya akan menjelaskan tentang teori dari *background subtraction* yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: *Basic Method, Statistical Method*. Hasil penilaian metode *background subtraction* menggunakan BMC datasets yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Hasil *review background subtraction* dari penelitian [13]

Base Method	Algorithm	Recall	Precision	F-Measure
Basic Method	Frame Difference	0.702	0.925	0.798
	Weighted Moving Mean	0.723	0.915	0.807
	Weighted Moving Variance	0.721	0.912	0.805
Statistical Method	Single Gaussian	0.795	0.922	0.855
	Gaussian Mixture Model	0.793	0.912	0.847

2.8 Basic Model Background Subtraction

Basic model melakukan perhitungan matematika dalam melakukan pemodelan gambar *background*, yaitu: menghitung perbedaan nilai antar *frame*, mendapatkan model *background* dengan menghitung rata – rata dari *history frame*, dan menghitung *variance* dari *history frame*. Algoritma *basic model* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *frame difference*, *weighted moving mean*, dan *weighted moving variance*. Setelah model *background* didapatkan, nilai piksel yang diklasifikasikan sebagai *foreground* didapatkan dengan menghitung perbedaan nilai antara gambar *background* dan *current frame* dari video. Untuk mengubah gambar *foreground* menjadi bentuk gambar biner, dilakukan proses *thresholding*, sehingga piksel yang merupakan representasi dari objek yang bergerak akan mempunyai nilai 1 dan piksel yang merupakan daerah dari *background* akan mempunyai nilai 0. Algoritma yang termasuk *basic method* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *frame difference*, *weighted moving mean*, dan *weighted moving average*. Alur proses dari *basic model background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Alur proses dari *basic model background subtraction*

2.8.1 Frame Difference

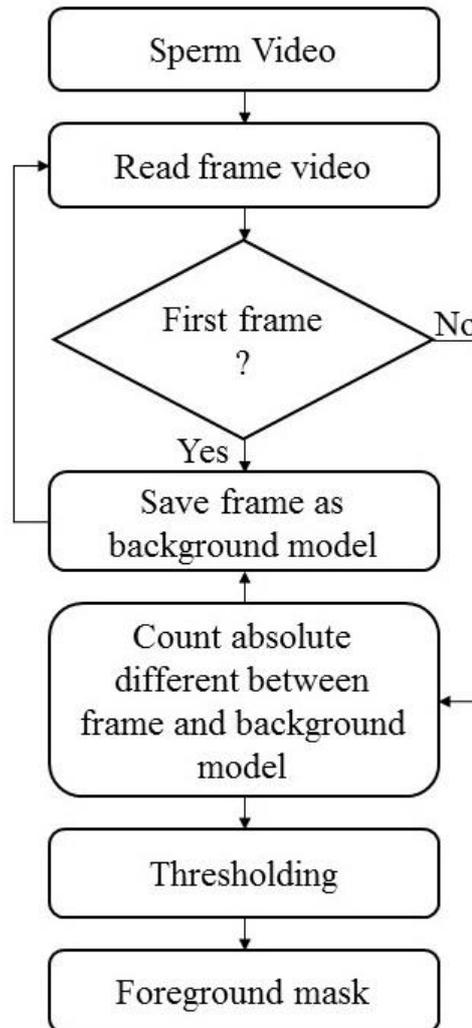
Pada algoritma ini, model *background* diambil dari *frame* (f) sesaat sebelum *current frame*. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan gambar *background* (B) pada algoritma *Frame Difference* didefinisikan dengan:

$$B = f_{t-1} \quad (2.4)$$

Gambar *foreground* (F) didapatkan dengan mencari perbedaan nilai antara gambar *background* dengan *current frame*:

$$F = |f_t - B| \quad (2.5)$$

Algoritma ini mampu secara cepat dan tepat dalam mendeteksi piksel yang bergerak, tetapi akan gagal mendeteksi jika objek yang bergerak berhenti seketika. Alur dari algoritma *Frame Difference* ini dapat dilihat pada Gambar 2.14.



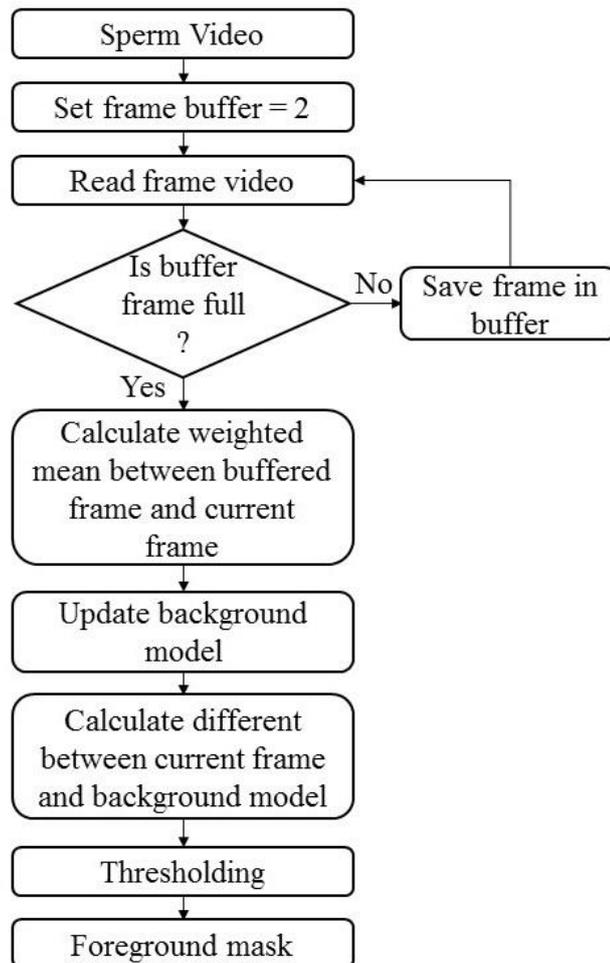
Gambar 2.14 Alur diagram dari algoritma *Frame Difference*

2.8.2 Weighted Moving Mean

Algoritma ini memodelkan gambar *background* dengan menghitung rata – rata dari current frame dengan beberapa frame sebelumnya. Dalam penelitian ini, perhitungan rata – rata menggunakan 3 data *frame* (f), yaitu *current frame* dan 2 *frame* sebelumnya atau bisa ditulis dengan: $frame_t$, $frame_{t-1}$, dan $frame_{t-2}$. Penghitungan rata – rata dilakukan dengan memberikan nilai beban pada setiap data. Dimana data yang lebih terbaru diberi nilai *weight* (w) yang lebih besar dari data lainnya, karena dianggap data yang lebih baru memiliki informasi *foreground* yang lebih signifikan dari data yang lain. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan gambar *background* (B) pada algoritma *Weighted Moving Mean* didefinisikan dengan:

$$B = (f_t \cdot w_1) + (f_{t-1} \cdot w_2) + (f_{t-3} \cdot w_2) \quad (2.6)$$

Alur dari algoritma *Weighted Moving Mean* ini dapat dilihat pada Gambar 2.15.



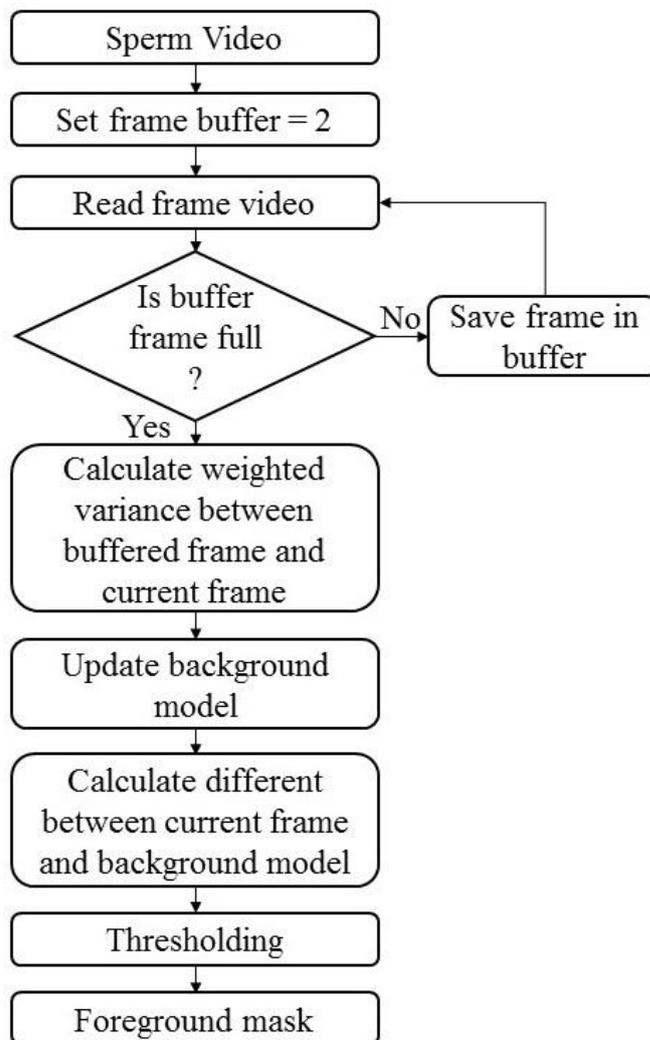
Gambar 2.15 Alur diagram dari algoritma *Weighted Moving Mean*

2.8.2 Weighted Moving Variance

Algoritma ini memodelkan gambar *background* dengan menghitung *moving variance*. Dalam menghitung nilai rata – rata (μ), algoritma ini menggunakan rumus dari algoritma *weighted moving mean*. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan gambar *background* (B) pada algoritma *Weighted Moving Variance* didefinisikan dengan:

$$B = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (f_i - (f_i \cdot w_1) + (f_{i-1} \cdot w_1) + (f_{i-2} \cdot w_2))^2} \quad (2.7)$$

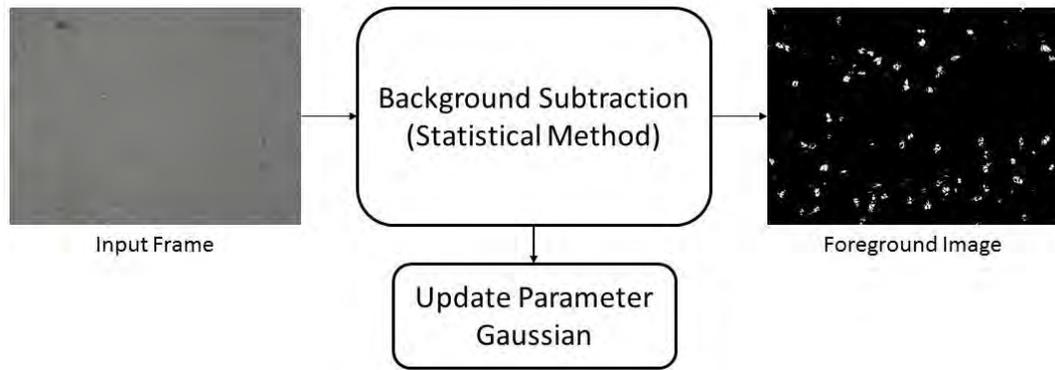
Alur dari algoritma *Weighted Moving Variance* ini dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Alur diagram dari algoritma *Weighted Moving Variance*

2.9 Statistical Model Background Subtraction

Dalam mendeteksi *foreground* pada *scene* dalam *video*, algoritma *background subtraction* dalam model ini, memodelkan setiap piksel pada *frame* secara statistik untuk kemudian digolongkan piksel yang termasuk dalam kategori *foreground* maupun piksel dalam kategori *background*. Agar algoritma ini dapat menjadi lebih adaptif terhadap perubahan yang terjadi pada *scene* dalam *video*, parameter – parameter yang digunakan akan selalu diperbarui selama proses masih berjalan. Pada penelitian ini, algoritma *statistical method* yang digunakan adalah *Single Gaussian*, *Gaussian Mixture Model* (GMM) dan *Kernel Density Estimation* (KDE). Secara umum, alur dari *statistical based background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Alur proses dari *statistical model background subtraction*

2.9.1 Single Gaussian

Algoritma ini pertama kali diperkenalkan oleh [16], algoritma ini memodelkan setiap piksel *background* menurut distribusi normal yang digolongkan berdasarkan nilai rata – rata (μ) dan standart deviasi (σ) pada rentang warna YUV. Model ini membutuhkan beberapa frames untuk menghitung nilai rata – rata (μ) dan standart deviasi (σ) di masing – masing komponen warna:

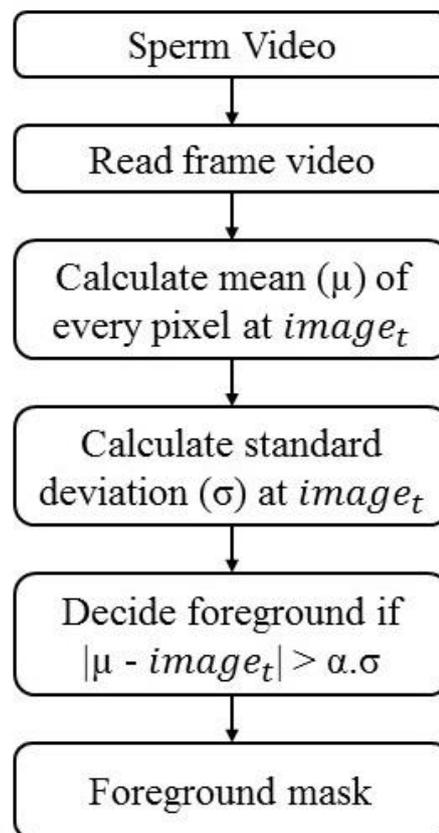
$$\mu(x, y, t) = \sum_{i=1}^t \frac{p(x, y, i)}{t} \quad (2.8)$$

$$\sigma(x, y, t) = \left(\sum_{i=1}^t \frac{p^2(x, y, i)}{i} - \mu^2(x, y, t) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.9)$$

Dimana $p(x, y, i)$ adalah nilai intensitas dari piksel pada posisi (x, y) pada waktu i . Setelah itu, piksel yang dianggap sebagai *foreground* adalah nilai piksel yang memenuhi aturan:

$$|\mu(x, y, t) - p(x, y, t)| > c \cdot \sigma(x, y, t) \quad (2.10)$$

Dimana C adalah nilai konstanta tertentu. Piksel yang dianggap sebagai *foreground* akan diberi nilai 1 dan selain piksel tersebut berarti dianggap sebagai daerah *background* dan diberi nilai 0. Alur dari algoritma *Single Gaussian* ini dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Alur diagram dari algoritma *Single Gaussian*

Metode ini dapat sesuai dengan kondisi didalam ruangan dengan sedikit perubahan cahaya, tetapi gagal di beberapa kasus: perubahan pencahayaan yang tiba – tiba, *background object* yang bergerak seperti pohon atau bendera.

2.9.2 Gaussian Mixture Model

Algoritma *Gaussian Mixture Model* pertama kali diperkenalkan oleh Stauffer dan Grimson [15]. GMM merupakan tipe *density model* yang terdiri dari komponen fungsi – fungsi Gaussian. Untuk setiap piksel, $\{X_1, \dots, X_t\}$, dimodelkan dengan *mixture* K distribusi Gaussian. Adapun untuk mengambil nilai probabilitas di setiap pikselnya didapatkan melalui persamaan ini:

$$P(x_t) = \sum_{i=1}^k w_{i,t} \cdot \eta(x_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (2.11)$$

dengan K adalah jumlah distribusi, $w_{i,t}$ adalah estimasi *weight* ke *mixture* Gaussian pada waktu t , $\mu_{i,t}$ adalah nilai mean ke- i *mixture* Gaussian pada waktu t , $\Sigma_{i,t}$ adalah *covariance* matriks ke- i *mixture* Gaussian pada waktu t , dan η adalah *Probability Density Function* Gaussian, yang bisa ditulis sebagai berikut:

$$\eta(x_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{i,t}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x_t - \mu_{i,t})^T \Sigma_{i,t}^{-1} (x_t - \mu_{i,t})} \quad (2.12)$$

dengan $|\Sigma_{i,t}|$ adalah determinan dari *covariance*, pangkat T adalah transpose matriks, pangkat -1 adalah invers matriks, e adalah eksponensial, π adalah phi, dan n adalah ukuran citra skalar X , maupun citra vektor X (RGB). Dengan jumlah nilai K antara 3 hingga 5. Dan *covariance* matriks didapatkan dari:

$$\Sigma_{i,t} = \sigma_i^2 I \quad (2.13)$$

Suatu piksel masuk dalam distribusi jika nilai piksel masuk dalam jarak 2.5 standar deviasi dari sebuah distribusi:

$$\mu_i - 2.5 \sigma_i < X_t < \mu_i + 2.5 \sigma_i \quad (2.14)$$

μ_i adalah vektor nilai *mean* citra RGB dari Gaussian ke- i , σ_i adalah standar deviasi dari Gaussian ke- i , dan X_t adalah vektor dari citra RGB. Komponen GMM yang akan di *update* nilainya adalah $w_{i,t}$ (*weight*), $\mu_{i,t}$ (*mean*), $\sigma_{i,t}^2$ (*variance*). *Update weight* dilakukan setiap saat:

$$w_{i,t} = (1 - \alpha) w_{i,t-1} + \alpha (M_{i,t}) \quad (2.15)$$

α adalah *learning rate* dan $M_{i,t}$ bernilai 1 untuk model yang cocok dan 0 untuk lainnya. *Update mean* dilakukan jika dan hanya jika ada model yang cocok:

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho) \mu_{i,t-1} + \rho X_t \quad (2.16)$$

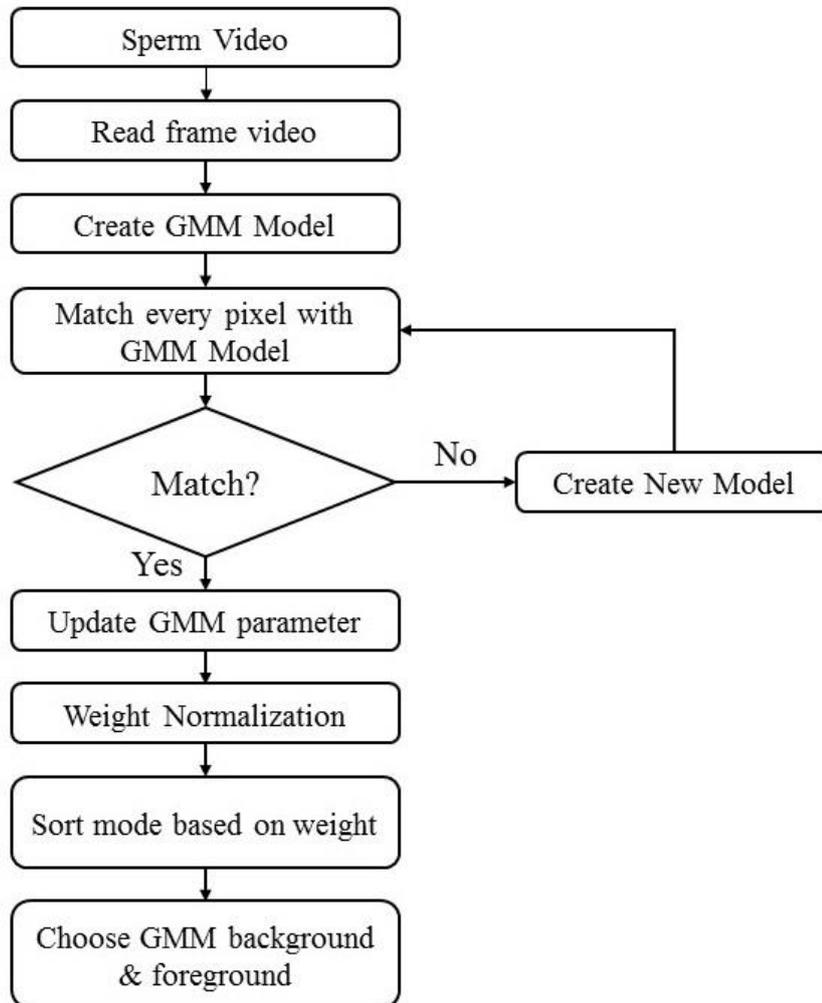
Update variance dilakukan jika dan hanya jika ada model yang cocok:

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho)\sigma_{i,t-1}^2 + \rho(X_t - \mu_{i,t})^T(X_t - \mu_{i,t}) \quad (2.17)$$

Model matematis untuk memilih B distribusi pertama yang dijadikan *background* adalah:

$$B = \text{arg}_b \min \left(\sum_{j=1}^b w_j > T \right) \quad (2.18)$$

Alur dari algoritma GMM untuk proses *background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Alur diagram dari algoritma *Gaussian Mixture Model*

2.9.3 Kernel Density Estimation

Elgammal [6] menghitung probabilitas fungsi kepadatan untuk tiap piksel warna menggunakan kernel estimator K untuk N sampel terbaru dari nilai intensitas sebagai berikut:

$$\Pr(x_t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K(x_t - x_i) \quad (2.19)$$

Foreground dideteksi menggunakan aturan sebagai berikut:

Jika $\Pr(X_t) < TH$, maka piksel tersebut termasuk *foreground*. Selain itu, piksel termasuk dalam *background*. Algoritma ini sama seperti GMM, mampu untuk beradaptasi pada multi-modal *background*, tetapi tidak perlu untuk mengestimasi parameter dari gaussian.

2.10 Mathematical Morphology

Morphology adalah satu cabang dari pengolahan citra yang sangat bermanfaat dalam analisis bentuk dalam citra. Operasi morfologi adalah teknik pengolahan citra yang didasarkan pada bentuk segmen atau region dalam citra. Karena difokuskan pada bentuk obyek, maka operasi ini biasanya diterapkan pada citra biner (hanya terdiri dari 1 dan 0). Biasanya segmen tadi didasarkan pada obyek yang menjadi perhatian. Segmentasi dilakukan dengan membedakan antara obyek dan latar, antara lain dengan memanfaatkan operasi pengambangan yang mengubah citra warna dan skala keabuan menjadi citra biner.

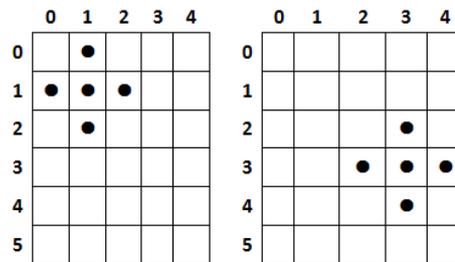
Dengan mengatur atau memilih ukuran dan bentuk dari matriks kernel (strukturing element) yang digunakan maka kita dapat mengatur sensitivitas operasi morfologi terhadap bentuk tertentu (spesifik) pada citra digital masukan. Secara umum, pemrosesan citra secara morfologi dilakukan dengan cara mem-passing sebuah struktur elemen terhadap sebuah citra dengan cara yang hampir sama dengan konvolusi. Hasil operasi morfologi dapat dimanfaatkan untuk pengambilan keputusan dengan analisis lebih lanjut. Operasi ini antara lain meliputi: pencarian batas/kontur, dilasi, erosi, penutupan (*closing*), pembukaan (*opening*), pengisian (*filling*), pelabelan, dan pengerangkaan (*skeletonization*).

2.10.1 Translasi

Apabila A adalah satu set piksel dalam citra biner dan $w = (x, y)$ adalah satu titik koordinat tertentu, maka A_w adalah A yang ditranslasikan (digeser) pada arah (x, y) . Atau dinyatakan

$$A_w = \{(a, b) + (x, y) \mid (a, b) \in A\} \quad (2.20)$$

Sebagai contoh adalah pada gambar 2.6(a). A adalah set atau himpunan yang berbentuk *cross* dan $w = (2, 2)$. Himpunan A digeser ke arah x dan y sesuai dengan ketentuan pada w . Dalam hal ini digunakan koordinat matriks (bukan koordinat kartesian) sehingga titik asal seperti terlihat pada Gambar 2.20, x berjalan *vertikal* dan y berjalan *horizontal*, sehingga hasilnya tampak pada bagian disampingnya.



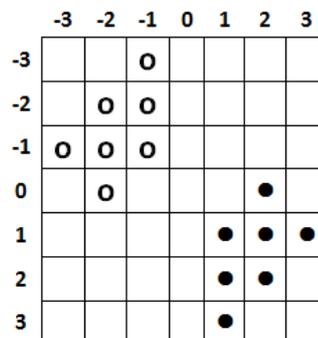
Gambar 2.20 Ilustrasi proses Translasi

2.10.2 Refleksi

Jika A adalah suatu himpunan piksel, maka refleksi (cermin) dari A dinotasikan sebagai A^{\wedge} dan diperoleh dengan cara mencerminkan himpunan A terhadap titik asal (*origin*).

$$A^{\wedge} = \{(-x, -y) \mid (x, y) \in A\} \quad (2.21)$$

Pada Gambar 2.21 diperlihatkan contoh cermin dari himpunan lingkaran-lingkaran berwarna putih, lingkaran-lingkaran cerminnya dinyatakan dengan lingkaran berwarna hitam. *Origin* atau titik asal ditentukan oleh koordinat $(0, 0)$.



Gambar 2.21 Ilustrasi proses Refleksi

2.10.3 Dilasi (*Dilation*)

Dilasi merupakan proses penggabungan titik-titik latar (0) menjadi bagian dari objek (1), berdasarkan struktur elemen S yang digunakan. Operasi dilasi dilakukan untuk memperbesar ukuran segmen obyek dengan menambah lapisan di sekeliling obyek. Dilasi A oleh B dinotasikan dengan $A \oplus B$ dan didefinisikan sebagai berikut:

$$A \oplus B = \bigcup_{x \in B} Ax \quad (2.17)$$

Ini berarti bahwa untuk setiap titik $x \in B$, maka dilakukan translasi atau penggeseran dan kemudian menggabungkan seluruh hasilnya (union). Atau secara matematis dituliskan sebagai:

$$A \oplus B = \{(x, y) + (u, v) \mid (x, y) \in A, (u, v) \in B\} \quad (2.18)$$

Dilasi mempunyai hukum komutatif, yaitu:

$$A \oplus B = B \oplus A \quad (2.19)$$

Pada diagram penggeseran, daerah yang berwarna kelabu menunjukkan posisi awal (asli) dari objek yang akan dikenakan dilasi. Terlihat bahwa $A_{(0,0)}$ adalah A itu sendiri. Pada contoh ini diperoleh:

$$B = \{(0,0), (1,1), (-1, 1), (1, -1), (-1, -1)\}$$

Koordinat-koordinat yang tampak pada definisi tersebut merupakan koordinat dimana A ditranslasikan (digeser). Pada dasarnya dilasi $A \oplus B$ dapat dilakukan dengan menggantikan setiap titik (x, y) pada A dengan B (titik $(0, 0)$ pada B diletakkan pada (x, y)). Atau ekuivalenya yaitu mengganti setiap titik (u, v) pada B dengan A . Dilasi juga dikenal dengan sebutan *Minkowski addition*. Dilasi mempunyai efek atau pengaruh memperbesar ukuran objek. Namun, objek asli tidak selalu berada di dalam $A \oplus B$, bergantung pada koordinat B . Maka $A \oplus B$ berada jauh dari A karena

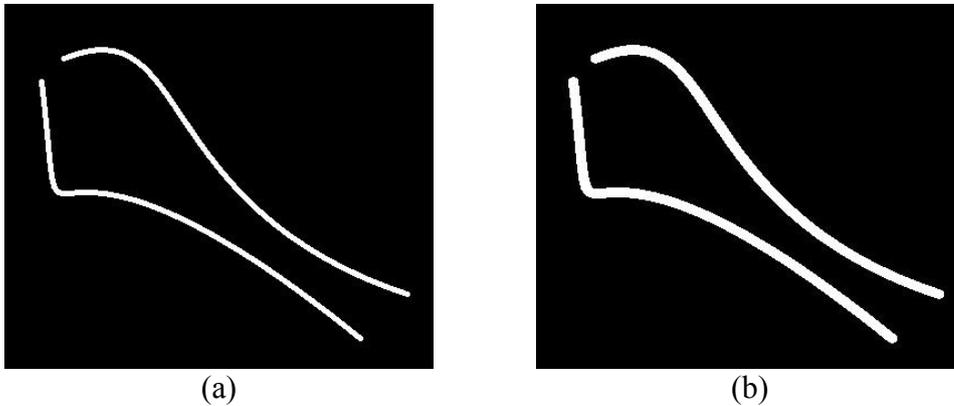
$$B = \{(7, 3), (6, 2), (6, 4), (8, 2), (8, 4)\}$$

Sehingga:

$$A \oplus B = A_{(7,3)} \cup A_{(6,2)} \cup A_{(6,4)} \cup A_{(8,2)} \cup A_{(8,4)} \quad (2.20)$$

Dilasi ini sangat berguna ketika diterapkan dalam obyek-obyek yang terputus dikarenakan hasil pengambilan citra yang terganggu oleh *noise*, kerusakan

obyek fisik yang dijadikan citra digital, atau disebabkan resolusi yang jelek, misalnya: teks pada kertas yang sudah agak rusak sehingga bentuk hurufnya terputus, dan sebagainya. Contoh dari hasil dilasi dapat dilihat pada Gambar 2.22.



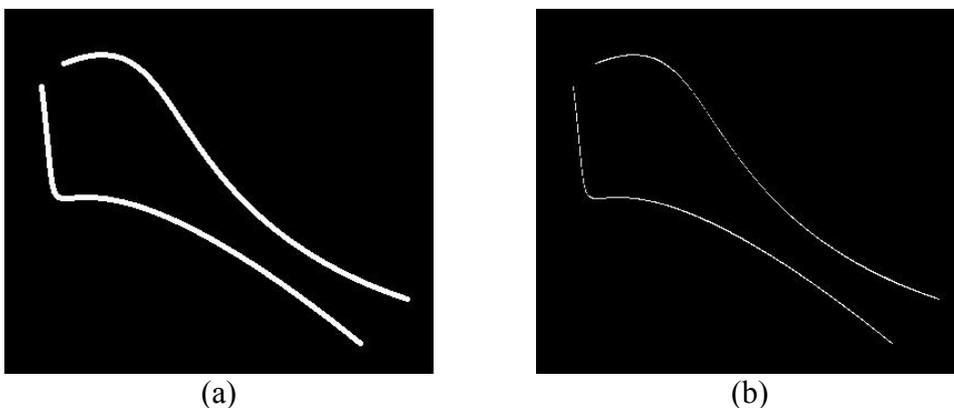
Gambar 2.22 Contoh hasil dilasi; (a) Gambar asli, (b) Gambar hasil dilasi

2.10.4 Erosi (*Erosion*)

Erosi merupakan proses penghapusan titik-titik objek (1) menjadi bagian dari latar (0), berdasarkan struktur elemen S yang digunakan. Operasi erosi adalah kebalikan dari operasi dilasi. Pada operasi ini, ukuran obyek diperkecil dengan mengikis sekeliling obyek. Jika diketahui himpunan A dan B , maka erosi A oleh B (dinotasikan $A \ominus B$) didefinisikan sebagai:

$$A \ominus B = \{\omega \mid B_\omega \subseteq A\} \quad (2.21)$$

Dengan kata lain, erosi A oleh B terdiri atas semua titik $\omega = (x, y)$ dimana B_ω ada di dalam himpunan A . Sebagaimana pada dilasi, maka pada operasi erosi umumnya A diasumsikan sebagai citra yang akan diproses dan B adalah satu set (himpunan) piksel yang juga disebut *structuring element* atau *kernel*. Contoh dari hasil dilasi dapat dilihat pada Gambar 2.23



Gambar 2.23 Contoh hasil erosi; (a) Gambar asli, (b) Gambar hasil erosi

2.10.5 Deteksi Bidang Batas (*Boundary Detection*)

Salah satu aplikasi operasi erosi dan dilasi adalah untuk deteksi bidang batas suatu objek dalam citra. Jika A adalah suatu citra dan B adalah suatu *structuring element* yang kecil yang terdiri atas titik yang diletakkan secara simetris terhadap *origin*, maka dapat didefinisikan bidang batas A dengan beberapa metode:

- (i) $A - (A \ominus B)$ “*internal boundary*”
 - (ii) $(A \oplus B) - A$ “*external boundary*”
 - (iii) $(A \oplus B) - (A \ominus B)$ “*morphological gradient*”
- (2.23)

2.10.6 Opening

Merupakan operasi *morphology* yang dapat dikategorikan sebagai operasi level kedua dengan arti bahwa *opening* dan *closing* dibangun berdasarkan operasi dilasi dan erosi. Misalkan terdapat citra A dan *structuring element* B , maka *opening* A oleh B dinyatakan dengan notasi $A \circ B$ dan didefinisikan sebagai berikut:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \tag{2.24}$$

Sehingga operasi *opening* merupakan sebuah operasi yang terdiri atas operasi erosi diikuti oleh operasi dilasi. Definisi ekivalennya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$A \circ B = \cup \{B_\omega : B_\omega \subseteq A\} \tag{2.25}$$

Yang berarti bahwa $A \circ B$ adalah gabungan (*union*) dari seluruh pergeseran B yang benar-benar tercakup (*fit*) dalam A . Hal ini berbeda dengan operasi erosi dimana erosi hanya terdiri atas titik $(0, 0)$ dari B sedangkan pada operasi *opening* maka terdiri atas semua titik pada B . Pada Gambar 2.24 ditampilkan ilustrasi hasil *opening*. Operasi *opening* cenderung akan memperhalus objek pada citra, memutus sambungan yang sempit (*break narrow joins*), dan menghilangkan efek pelebaran pada objek (*remove protrusions*).



Gambar 2.24 Hasil *opening* citra

2.10.7 Closing

Closing didefinisikan sebagai operasi dilasi yang dilanjutkan dengan operasi erosi, dinotasikan sebagai $A \bullet B$, sehingga dapat dinyatakan:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.26)$$

Operasi *closing* juga cenderung akan memperhalus objek pada citra, namun dengan cara menyambung pecahan-pecahan (*fuses narrow breaks and thin gulf*) dan menghilangkan lubang-lubang kecil pada objek. Pada Gambar 2.25 ditampilkan ilustrasi hasil *closing*.



Gambar 2.25 Hasil *closing* citra

2.10.8 Morphology Filtering

Apabila terdapat citra biner A yang terkena derau *impuls* – piksel yang seharusnya hitam menjadi putih dan sebaliknya. Maka $A \ominus B$ akan menghilangkan piksel hitam tunggal namun akan memperbesar lubang-lubang yang ada. Untuk menghilangkan lubang dapat dilakukan dilasi dua kali secara berurutan.

$$((A \ominus B) \oplus B) \oplus B \quad (2.27)$$

Dilasi yang pertama akan mengembalikan lubang-lubang ke ukuran semula dan operasi dilasi yang kedua akan menghilangkan lubang-lubang tersebut. Namun hal ini juga akan memperbesar objek pada citra. Untuk mengembalikan objek ke ukuran semula maka dapat dilakukan erosi, sehingga operasi secara keseluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$(((A \ominus B) \oplus B) \oplus B) \ominus B \quad (2.28)$$

Operasi tersebut juga dapat dinyatakan sebagai berikut

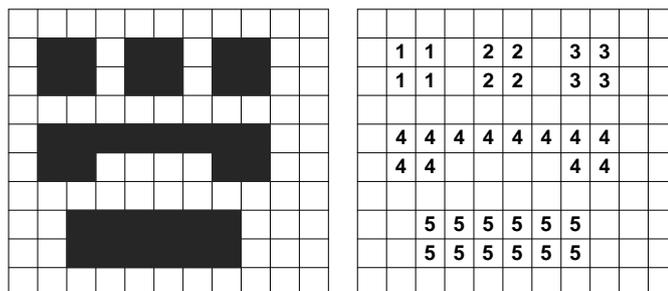
$$(A \circ B) \bullet B \quad (2.29)$$

2.11 Segmentasi

Dalam visi komputer, Segmentasi adalah proses mempartisi citra digital menjadi beberapa segmen. Tujuan dari segmentasi adalah untuk menyederhanakan dan/atau mengubah penyajian gambar ke sesuatu yang lebih bermakna dan lebih mudah untuk menganalisis. Lebih tepatnya, segmentasi citra adalah proses untuk menempatkan label untuk setiap piksel dalam sebuah gambar sehingga piksel dengan kumpulan label yang sama karakteristik visual tertentu. Hasil segmentasi citra adalah seperangkat segmen yang secara kolektif mencakup seluruh gambar, atau satu set kontur diekstrak dari citra (lihat deteksi tepi). Setiap piksel dalam suatu wilayah mirip dengan memperhatikan beberapa karakteristik properti atau dihitung, seperti warna, intensitas, atau tekstur. Segmentasi citra pada umumnya berdasar pada sifat *discontinuity* atau *similarity* dari intensitas piksel. Pendekatan *discontinuity* adalah mempartisi citra bila terdapat perubahan intensitas secara tiba-tiba (*edge based*). Pendekatan *similarity* adalah mempartisi citra menjadi daerah-daerah yang memiliki kesamaan sifat tertentu (*region based*) contoh: *thresholding*, *region growing*, *region splitting and merging*.

2.12 Pelabelan Objek

Bila Citra mengandung objek lebih dari satu, maka masing-masing objek dapat dihitung secara sendiri-sendiri melalui operasi pelabelan yaitu dengan cara menemukan komponen terkoneksi dalam citra karena suatu komponen terkoneksi mewakili sebuah objek. Kumpulan piksel ini dianggap sebagai objek tunggal bila tidak lagi tersambung dengan kumpulan piksel lainnya. Algoritma untuk menemukan komponen terkoneksi dalam sebuah citra dan menandainya disebut Operasi Pelabelan Komponen. Gambar 2.26 menggambarkan sebuah citra biner dan urutan pemberian label pada objek-objeknya.



Gambar 2.26 Sebuah citra biner dan urutan pemberian label pada objek

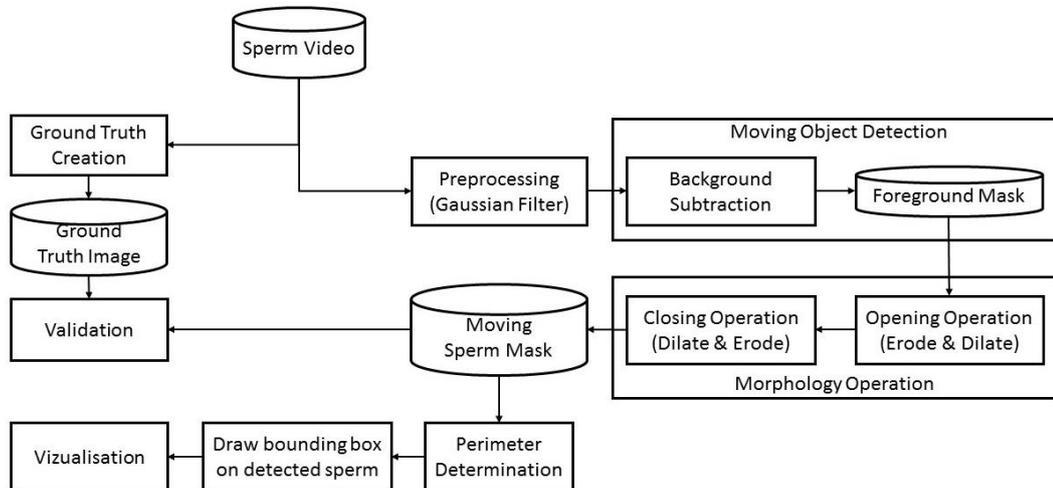
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang metodologi penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini. Bab ini akan dibagi menjadi 5 bagian, yaitu: desain sistem dari penelitian, penjelasan tentang data yang digunakan dalam penelitian ini, penerapan dari *background subtraction* (*basic model* dan *statistical model*), operasi morfologi yang diterapkan, dan penjelasan tentang *ground truth image*.

3.1 Desain Sistem

Penelitian ini akan membandingkan metode deteksi objek bergerak pada kasus deteksi sperma manusia. Diagram alur dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem

Ada 4 proses yang dilakukan untuk dapat mendeteksi dan menghitung sperma manusia. Proses yang pertama adalah *preprocessing* menggunakan *gaussian filter*, yang dilakukan pada setiap *frame* yang dibaca dari video sperma. Selanjutnya adalah proses *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 proses sebelumnya. Untuk

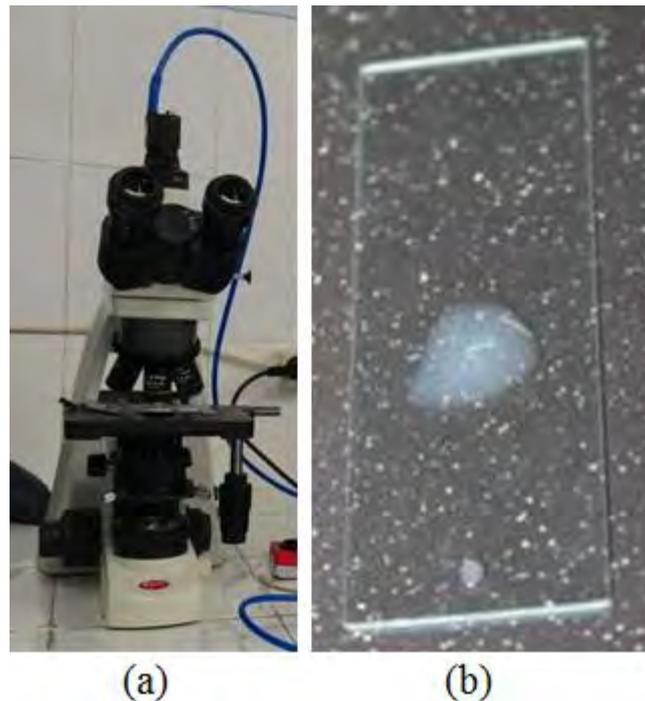
menguji atau memvalidasi hasil deteksi dari setiap algoritma *background subtraction* yang digunakan, hasil *foreground mask* dari operasi morfologi akan dibandingkan dengan gambar *ground truth* sperma yang bergerak – hasil dari pengamatan secara manual. Dan untuk keperluan visualisasi, setiap daerah 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 proses akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

3.2 Data Penelitian

Data video sperma yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data video mikroskopik cairan sperma. Cairan sperma yang diamati berasal dari relawan yang memang bersedia untuk menyumbangkan cairan spermanya. Cairan sperma diamati menggunakan mikroskop *bright field* dengan pembesaran lensa objek sebesar 40 kali. dan direkam menggunakan kamera *Point Grey* dengan tipe FL3-U3-13S2C-CS. Data yang diamati kemudian disimpan kedalam bentuk video dengan ekstensi avi, video ini memiliki frekuensi sebesar 60 fps. Proses pengamatan cairan sperma dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gambaran proses pengamatan cairan sperma yang dilakukan di laboratorium mikrobiologi Poltekes Surabaya



Gambar 3.3 Instrumen penelitian: (a) *Bright field microscope* yang digunakan, (b) Cairan sperma yang sudah diteteskan di atas kaca preparat

Bentuk mikroskop yang digunakan dan cairan sperma yang diamati dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3. Sebelum diamati, sampel cairan sperma didiamkan terlebih dahulu sekitar 20-30 menit dengan suhu ruang. Hal tersebut perlu dilakukan karena cairan sperma setelah dikeluarkan sangat kental, maka dari itu perlu proses pengenceran ini supaya *spermatozoa* yang diamati tidak terlalu rapat, sehingga *spermatozoa* yang diamati terlihat bergerak lebih aktif dan dapat jelas dibedakan. Perekaman sampel di bawah mikroskop diatur menggunakan lensa objektif perbesaran 40 kali sehingga motilitas *spermatozoa* terlihat jelas untuk diamati. *Setting* kamera dan program diatur supaya video mempunyai kontras, *brightness* dan *white balance* yang sama. Ruang pandang mikroskop diatur tidak bergerak selama proses perekaman. Video yang dihasilkan disimpan dan kemudian dikonversi untuk kemudian dapat diproses. Video hasil rekaman inilah yang menjadi data yang digunakan dalam penelitian ini. Data video tersebut kemudian di baca *frame by frame* untuk dilakukan pendeteksian sperma.

3.3 Preprocessing

Proses *preprocessing* dalam penelitian ini bertujuan menghilangkan *noise* dan mengurangi detail dari gambar. Metode *preprocessing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gaussian filter*. Dengan menerapkan *Gaussian filter*, gambar *frame* dari video akan menjadi lebih samar, sehingga *noise* dan detail pada gambar akan berkurang. Hal ini akan mempengaruhi hasil pada proses selanjutnya. Besarnya kernel yang digunakan pada *Gaussian filter* dalam penelitian ini adalah 5x5. Nilai dari kernel yang terbentuk, dapat dilihat pada Gambar 3.4.

	1	4	7	4	1
	4	16	26	16	4
$\frac{1}{273}$	7	26	41	26	7
	4	16	26	16	4
	1	4	7	4	1

Gambar 3.4 Kernel Gaussian 5x5

3.4 Background Subtraction

Proses *background subtraction* digunakan untuk mendeteksi objek bergerak pada video. Dalam penelitian tentang infertilitas sperma, sperma yang nantinya berhasil membuahi sel telur adalah sperma yang terus bergerak. Maka dari itu diperlukan proses *background subtraction* dalam mendeteksi sperma yang bergerak. Pada kasus deteksi sperma, keuntungan yang dimiliki dalam melakukan proses *background subtraction* adalah data yang digunakan mempunyai karakteristik uni-modal, jarak antar *frame* yang singkat, dan tidak ada pengaruh perubahan cahaya. Dan tantangan yang dihadapi adalah terdapat objek *background* yang bergerak dan adanya objek baru yang dianggap sebagai *background*. Input dari proses *background subtraction* adalah *frame* video yang telah di *preprocessing* dan *output*-nya merupakan gambar biner yang merepresentasikan objek (sperma) yang bergerak pada video. Pada penelitian ini, metode *background subtraction* yang digunakan adalah *single gaussian* yang termasuk dalam lingkup *statistical model background subtraction*. Penelitian ini juga mengaplikasikan algoritma *background subtraction* lainnya, pada kasus deteksi sperma yang bergerak.

3.5 Basic Model

Basic model background subtraction digunakan karena dalam kasus deteksi sperma yang bergerak, jarak waktu antar *frame* sangat singkat dan tidak ada pengaruh perubahan cahaya dalam scene, sehingga model algoritma ini dianggap cukup efektif dalam memodelkan gambar *background*. *Basic model* melakukan perhitungan matematika dalam memodelkan gambar *background*. Algoritma *basic model* ini memodelkan gambar *background* (B), sehingga untuk memperoleh gambar *foreground* (F) diperlukan perhitungan untuk mencari perbedaan nilai piksel antara model gambar *background* dengan *frame* saat ini (f_t) pada video. Dan untuk mengubah gambar *foreground* menjadi bentuk gambar biner, diperlukan proses *thresholding*. Dalam penelitian ini, algoritma *otsu threshold* digunakan pada proses *thresholding*. Berikut adalah penjabaran dari algoritma *basic model* yang digunakan:

3.5.1 Frame Difference

Dalam penelitian ini, model gambar *background* (B) dalam algoritma ini diambil dari *frame* sebelum *current frame*. *Frame* sebelum *current frame* akan selalu digunakan sebagai model *background* selama video masih berjalan. Untuk memodelkan gambar *foreground*, dicari perbedaan antara nilai piksel pada model *background* dengan *current frame* dari video.

3.5.2 Weighted Moving Mean

Gambar *background* dalam algoritma ini dimodelkan dengan menghitung rata-rata beberapa *frame* sebelum *current frame*. Dalam penelitian ini, data *frame* yang digunakan untuk menghitung rata-rata adalah f, f_{t-1} , dan f_{t-2} . Besar nilai *weight* yang digunakan dalam penelitian ini adalah $w_1 = 0.5$, $w_2 = 0.3$, dan $w_3 = 0.2$.

3.5.3 Weighted Moving Variance

Gambar *background* dalam algoritma ini dimodelkan dengan menghitung variance. Data *frame* yang digunakan untuk menghitung rata-rata adalah f, f_{t-1} , dan f_{t-2} . Besar nilai *weight* yang digunakan dalam penelitian ini adalah $w_1 = 0.5$, $w_2 = 0.3$, dan $w_3 = 0.2$.

3.6 Statistical Model

Statistical model sesuai dalam mengatasi situasi: *camera automatic adjustment*, *moved background object*, dan *inserted background object*. Situasi ini sesuai dengan tantangan yang ada dalam mendeteksi sperma yang bergerak. Algoritma *background subtraction* dalam model ini, memodelkan setiap piksel pada *frame* secara statistik untuk kemudian digolongkan piksel yang termasuk dalam kategori *foreground* maupun piksel dalam kategori *background*. Berikut adalah penjabaran dari algoritma *basic model* yang digunakan:

3.6.1 Single Gaussian

Algoritma ini memodelkan setiap piksel menurut distribusi normal yang digolongkan berdasarkan nilai rata – rata (μ) dan standart deviasi (σ). Dalam penelitian ini nilai konstanta dalam aturan yang digunakan untuk menentukan piksel tersebut sebagai *foreground* atau *background* sebesar 0.05.

3.6.2 Gaussian Mixture Model

Untuk mengklasifikasi bahwa suatu piksel termasuk *background* atau *foreground*, algoritma ini memodelkan setiap piksel menggunakan *mixture of K Gaussian*. Dalam penelitian ini, banyaknya K dari Gaussian yang digunakan adalah 3. Nilai *learning rate* (α) yang digunakan dalam memperbarui nilai *weight* (ω) adalah sebesar 0.01. Besar nilai *threshold* (T) yang digunakan dalam aturan untuk menentukan model GMM yang termasuk *background* adalah 9.

3.6.3 Kernel Density Estimation

Algoritma ini mengestimasi *probability density function* untuk setiap piksel menggunakan *kernel estimator* K untuk sample terbaru sejumlah N dari pada nilai intensitas yang diambil secara berturut – turut pada *time size window* W. Dalam penelitian ini, model gambar *foreground* pertama kali dibentuk dari 10 *frame* awal dari video kemudian model ini akan terus diperbarui. Banyaknya sample yang digunakan untuk setiap piksel sebesar 50. Nilai *threshold* yang digunakan untuk menentukan piksel termasuk *foreground* sebesar $10e^{-8}$.

3.7 Morphological Operation

Setelah proses *background subtraction* dilakukan, maka didapatkan *foreground mask* yang berupa gambar biner dimana gambar ini merepresentasikan piksel – piksel yang bergerak pada video. *Foreground image* yang dihasilkan masih memiliki *noise* dan terkadang objek sperma bergerak yang terekstraksi tidak utuh – terbagi menjadi dua bagian atau lebih. Untuk mengatasi hal ini, proses *morphological operation* diterapkan. Operasi morfologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *opening operation* kemudian dilanjutkan dengan *closing operation*. Dalam penelitian ini, struktur element yang digunakan dalam semua operasi morfologi yang dilakukan memiliki bentuk *ellipse* dengan ukuran kernel sebesar 5x5. Bentuk struktur elemen yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

0	0	1	0	0
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
0	0	1	0	0

Gambar 3.5 Bentuk struktur element yang digunakan

3.7.1 Opening Operation

Proses yang terjadi pada *opening operation* adalah operasi morfologi erosi yang kemudian dilanjutkan dengan operasi morfologi dilasi. Proses erosi yang dilakukan bertujuan untuk menghilangkan *noise* yang muncul pada gambar *foreground* dari hasil proses *background subtraction*. Kemudian proses dilasi yang dilakukan bertujuan untuk mengembalikan kembali bentuk objek yang berubah setelah proses erosi yang pertama.

3.7.2 Closing Operation

Proses yang terjadi pada *closing operation* adalah operasi morfologi dilasi kemudian dilanjutkan dengan operasi morfologi erosi. Proses dilasi yang dilakukan bertujuan untuk menutup lubang – lubang kecil pada objek dan menyambungkan

bentuk sperma yang terpisah. Proses erosi yang terakhir dalam *closing operation* bertujuan untuk menyempurnakan bentuk dari sperma bergerak yang terdeteksi.

3.8 Visualisasi

Pada proses sebelumnya, operasi morfologi telah berhasil menghilangkan *noise* yang muncul karena proses pemisahan *foreground* dari *background* dan menyempurnakan bentuk sperma yang terekstraksi. Sehingga telah diperoleh *binary image* dari yang merepresentasikan sperma yang bergerak. Setiap blob pada gambar *binary image* ini merupakan representasi dari objek sperma yang bergerak. Dari gambar ini, objek sperma dideteksi berdasarkan kontournya. Sehingga dapat diketahui bentuk kontur, luasan daerah kontur, titik tengah dari posisi sperma pada *frame*. Berdasarkan dari informasi ini, untuk setiap sperma yang terdeteksi akan diberi *bounding box* dan banyaknya jumlah sperma pada *frame* asli-nya dari video, sehingga terlihat bahwa sistem berhasil dalam mendeteksi sperma.

3.9 Validasi

Pada penelitian deteksi dan perhitungan sperma ini, proses validasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil deteksi sperma yang bergerak dari masing – masing algoritma yang dicoba dengan gambar *ground truth* yang merupakan hasil pengamatan manual dari lokasi sperma yang bergerak pada *frame* video. Hasil perbandingan tersebut kemudian dianalisa menggunakan *receiver operating characteristic* sehingga dapat diketahui tingkat validasi dari setiap algoritma yang dicoba.

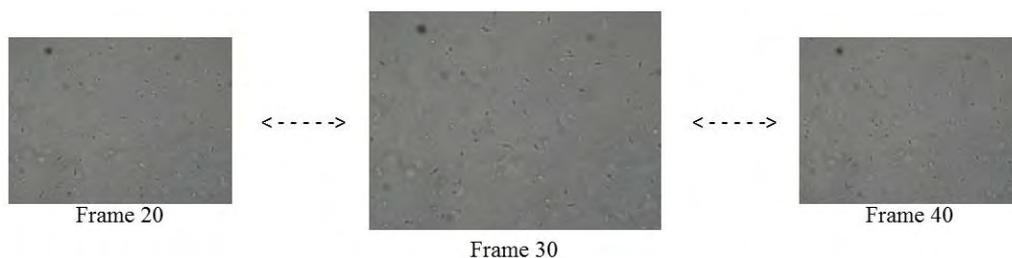
3.9.1 Ground Truth Image

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 3.6.



Gambar 3.6 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 3.7.



Gambar 3.7 Ilustrasi pembuatan *ground truth image*

3.9.2 Receiver Operating Characteristic

Hasil deteksi dari setiap algoritma yang digunakan akan dibandingkan dengan gambar *ground truth* sehingga diperoleh tiga nilai, masing – masing adalah *True Positive* (TP), *False Negative* (FN), dan *False Positive* (FP). *True positive* (TP) untuk sperma yang ada, dan terdeteksi ada. *False Positive* (FP) untuk sperma yang ada, dan terdeteksi tidak ada. *False Negative* (FN) untuk sperma yang tidak ada, terdeteksi ada. Dari hasil pengujian diatas, setelah itu dihitung nilai *precision*, *recall* dan *f-measure*.

Precision dapat dihitung dengan:

$$Precision = \frac{tp}{tp + fp} \quad (3.1)$$

Recall dapat dihitung dengan:

$$Recall = \frac{tp}{tp + fn} \quad (3.2)$$

F – Measure dapat dihitung dengan:

$$F - Measure = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall} \quad (3.3)$$

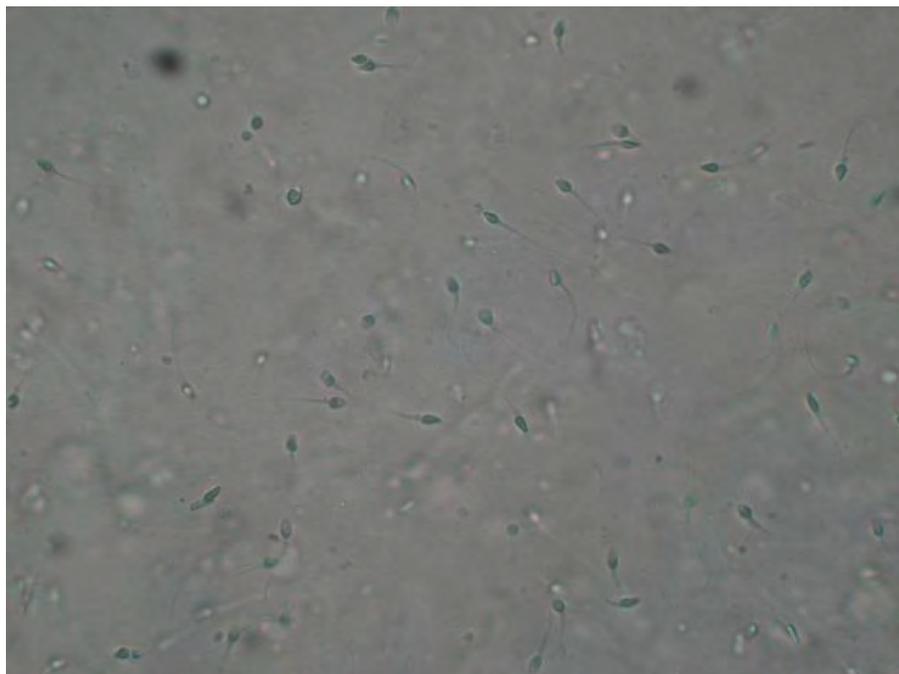
BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

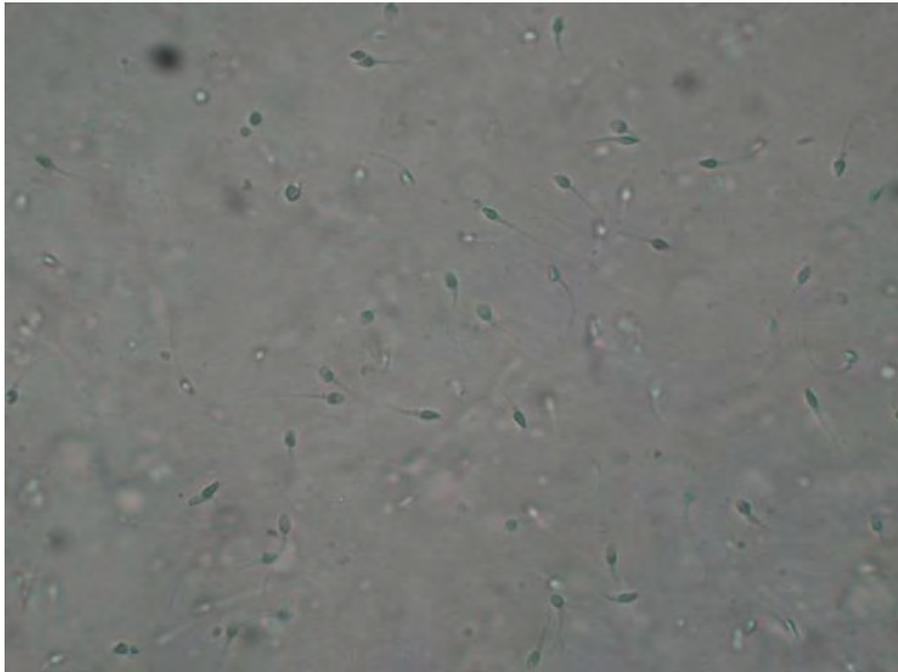
Bab ini menjelaskan hasil penelitian dan pembahasan dari pengujian yang dilakukan. Hasil penelitian yang ditunjukkan adalah hasil *preprocessing*, hasil proses *background subtraction*, hasil proses operasi morfologi, dan hasil pengujian deteksi dan penghitungan sperma. Proses pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil deteksi dan penghitungan sperma dengan gambar *ground truth* objek sperma yang bergerak yang kemudian dianalisa menggunakan *receiver operating characteristic*.

4.1 Hasil *Preprocessing*

Preprocessing pada penelitian ini menggunakan *gaussian filter* dengan ukuran kernel sebesar 5x5. Input dari *preprocessing* ini merupakan *frame* video dari cairan semen yang diamati. Contoh *frame* dari data video sperma yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.1, dan hasil dari *preprocessing* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 *Frame* asli dari video sperma



Gambar 4.2 *Frame* setelah proses *preprocessing*

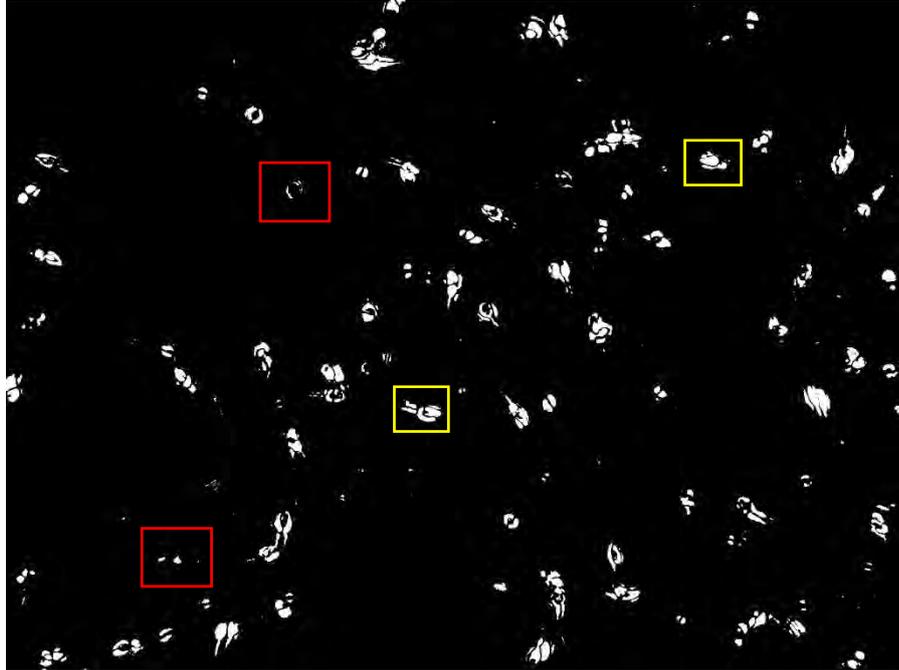
Hasil dari *preprocessing* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Proses *preprocessing* ini bertujuan untuk menghilangkan *white noise* yang muncul dari kamera, mensamarkan gambar, dan mengurangi detail dari gambar.

4.2 Hasil *Background Subtraction*

Hasil dari proses *background subtraction* adalah *foreground mask*, gambar biner yang merepresentasikan piksel yang bergerak pada video. Dalam penelitian ini adalah *foreground mask* merepresentasikan objek sperma yang bergerak. Pada penelitian ini telah dicoba beberapa algoritma *background subtraction* dalam mendeteksi sperma yang bergerak. Di bawah ini adalah penjelasan untuk hasil dari masing – masing algoritma yang digunakan dalam mendeteksi dan mengatasi tantangan yang ada pada kasus sperma yang bergerak. Kotak merah dalam gambar hasil merupakan daerah dimana terdapat objek *background* yang bergerak pada scene video, dan kotak kuning merupakan contoh daerah dimana terdapat objek sperma bergerak yang terdeteksi. Penjabaran lebih rinci dapat dilihat pada penjelasan dari masing – masing algoritma yang digunakan dibawah ini.

4.2.1 *Frame Difference*

Model *background* dari algoritma ini diambil dari *frame* sebelum *current frame*. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.

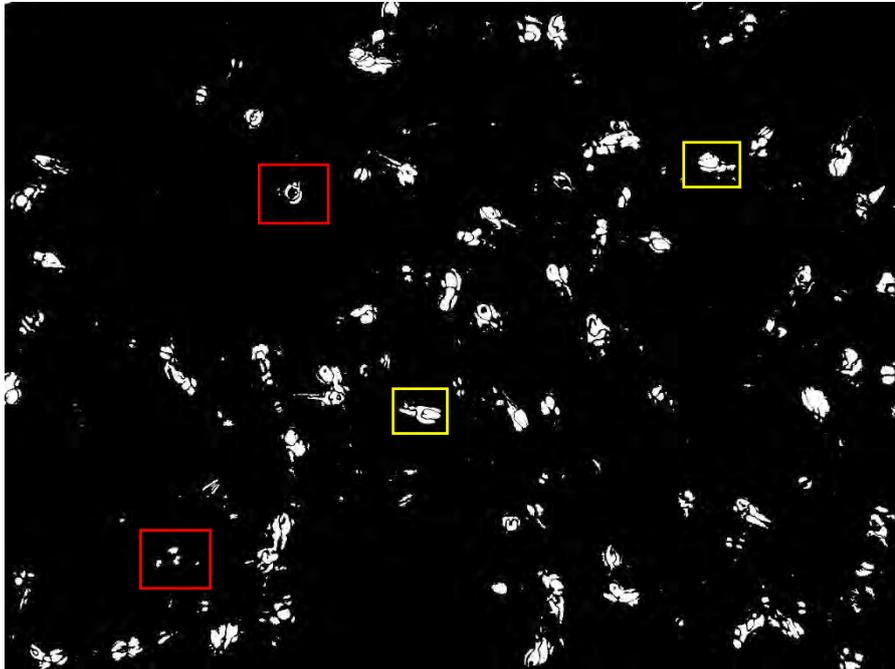


Gambar 4.3 Hasil *foreground mask* algoritma *Frame Difference*

Pada Gambar 4.3 diatas, dapat dilihat dalam kotak kuning bahwa sperma yang terdeteksi terlihat terbagi menjadi beberapa bagian dan terdapat *noise* disekitar sperma yang terdeteksi. Hal ini juga terjadi kepada semua sperma bergerak yang terdeteksi, dapat dilihat pada gambar *foreground mask* diatas, satu objek sperma bergerak yang terdeteksi dapat terbagi menjadi beberapa bagian, antara kepala sperma dan ekor, daerah bagian kepala sperma yang terbagi menjadi dua. *Noise* juga muncul didaerah lain pada *frame*, bukan hanya disekitar daerah sperma yang bergerak. Pada kotak merah, dapat dilihat bahwa objek *background* yang bergerak juga terdeteksi. Objek *background* yang terdeteksi terlihat juga terbagi menjadi beberapa bagian seperti objek sperma yang bergerak. Namun, objek *background* bergerak yang terdeteksi

4.2.2 *Weighted Moving Mean*

Model gambar *background* dihitung dari rata – rata *current frame* dengan beberapa *frame* sebelumnya. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.

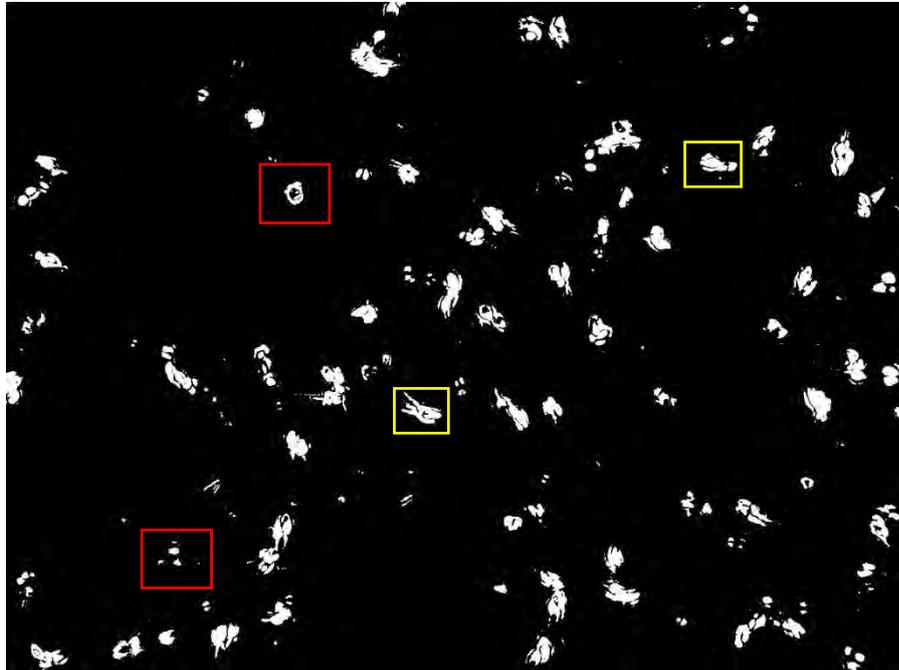


Gambar 4.4 Hasil *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Mean*

Pada kotak merah dalam Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa objek *background* yang bergerak masih terdeteksi dan memiliki daerah yang lebih besar jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* dari algoritma *Frame Difference*. Pada kotak kuning, dapat dilihat bahwa objek sperma bergerak yang terdeteksi terlihat terbelah menjadi beberapa bagian dan terdapat *noise* pada sekitaran objek sperma. Perbedaan yang terlihat pada hasil *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Mean*, jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* algoritma *Frame Difference* adalah, objek yang bergerak pada *frame* video terlihat memiliki daerah yang lebih luas. Hal ini terjadi pada sperma bergerak, objek *background* yang bergerak, dan *noise* yang muncul. Dapat dilihat juga bahwa hasil *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Mean* lebih memiliki banyak *noise* daripada hasil *foreground mask* algoritma *Frame Difference*.

4.2.3 *Weighted Moving Variance*

Algoritma ini menghitung *variance* dari *current frame* dengan beberapa *frame* sebelumnya untuk memodelkan gambar *background*. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.

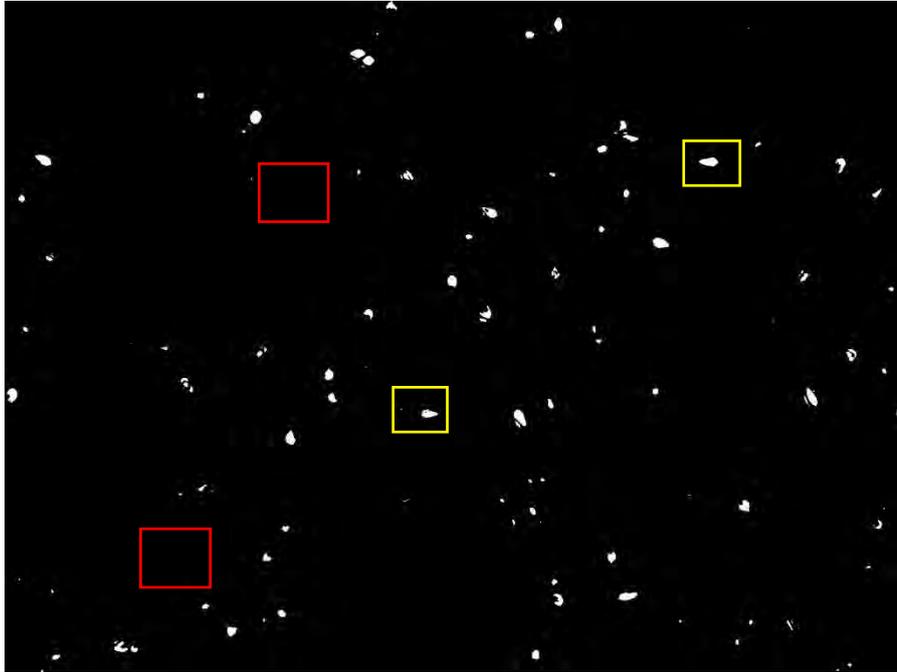


Gambar 4.5 Hasil *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Variance*

Gambar 4.5 menunjukkan hasil dari *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Variance*. Jika diperhatikan pada hasil *foreground mask* yang terbentuk, objek sperma bergerak yang terdeteksi ada yang terlihat terbelah dan ada juga yang tidak terbelah. Perbedaan yang terlihat pada hasil *foreground mask* dari algoritma *Weighted Moving Variance*, jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* algoritma *Frame Difference* dan *Weighted Moving Mean* adalah, objek sperma bergerak yang terbelah memiliki bagian yang lebih sedikit, objek sperma bergerak yang terdeteksi memiliki daerah yang lebih luas, dan *foreground mask* yang terbentuk memiliki *noise* yang lebih sedikit. Objek *background* yang bergerak terdeteksi sebagai *foreground* pada hasil *foreground mask* dari algoritma ini. Daerah yang dimiliki dari objek *background* yang bergerak juga terlihat lebih besar jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* dari algoritma sebelumnya.

4.2.4 Single Gaussian

Dalam mendeteksi piksel yang termasuk *foreground* pada *frame* video, algoritma ini memodelkan setiap piksel pada *frame* menurut distribusi normal yang digolongkan berdasarkan nilai rata – rata (μ) dan standart deviasi (σ). Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.

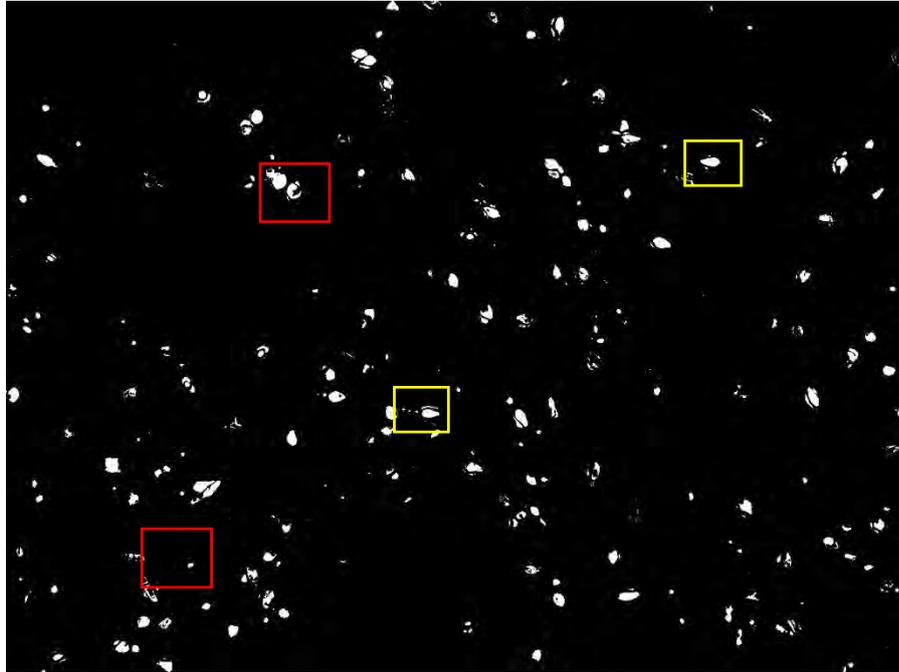


Gambar 4.6 Hasil *foreground mask* algoritma *Single Gaussian*

Hasil *foreground mask* dari algoritma ini menunjukkan bahwa, objek *background* yang bergerak tidak terdeteksi sebagai *foreground*, melainkan tetap terdeteksi sebagai *background*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.6, bahwa tidak ada daerah putih dalam kotak berwarna merah. Sperma bergerak yang terdeteksi dalam kotak kuning, terlihat tidak terbelah dan hanya memiliki sedikit *noise* yang muncul disekitarnya. Jika diperhatikan pada *foreground mask*, hanya sedikit *noise* yang muncul didalam *frame*, dan sperma bergerak yang terekstraksi juga terlihat lebih sempurna bentuknya jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* dari algoritma *background subtraction* lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma ini sesuai dengan kondisi pada kasus deteksi sperma yang bergerak.

4.2.5 Gaussian Mixture Model

Untuk mengklasifikasi bahwa suatu piksel termasuk *background* atau *foreground*, algoritma ini memodelkan setiap piksel menggunakan *mixture of K Gaussian*. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.

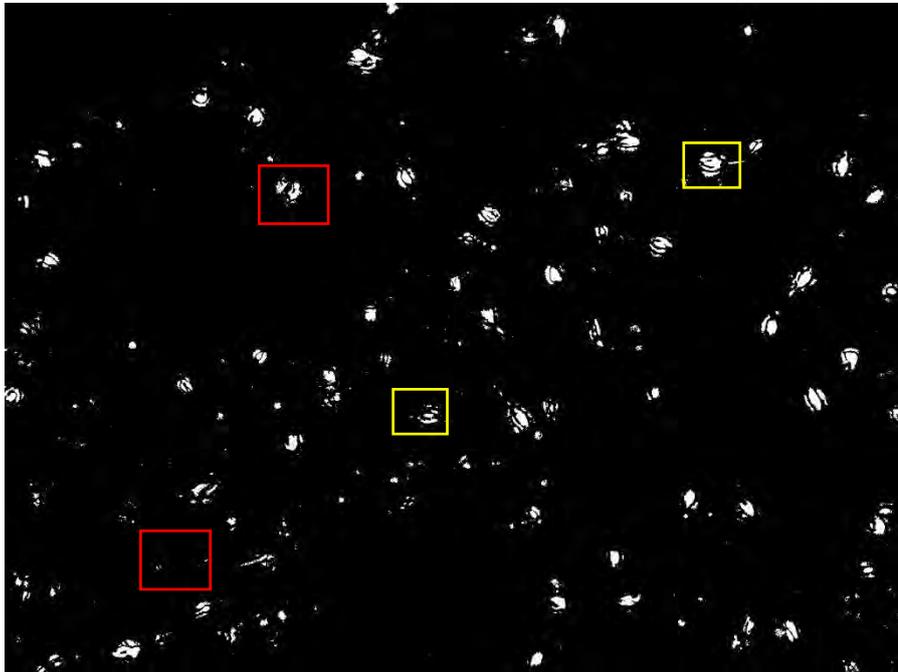


Gambar 4.7 Hasil *foreground mask* algoritma *Gaussian Mixture Model*

Objek sperma bergerak yang terekstraksi pada kotak kuning dalam algoritma ini terlihat tidak terbelah menjadi beberapa bagian seperti pada hasil dari algoritma pada *basic model background subtraction*. Objek sperma bergerak yang terekstraksi hasilnya menyerupai dengan hasil pada algoritma *Single Gaussian*, bagian kepala sperma terlihat utuh tetapi pada algoritma ini lebih banyak *noise* yang muncul. Objek *background* yang bergerak dalam algoritma ini masih terdeteksi sebagai *foreground*. Dapat dilihat pada kotak merah pada Gambar 4.7 diatas, terdapat daerah putih yang menandakan terdapat objek bergerak pada daerah tersebut.

4.2.6 Kernel Density Estimation

Algoritma ini mengestimasi *probability density function* untuk setiap piksel menggunakan *kernel estimator* K untuk sample terbaru sejumlah N dari pada nilai intensitas yang diambil secara berturut – turut pada *time size window* W. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.



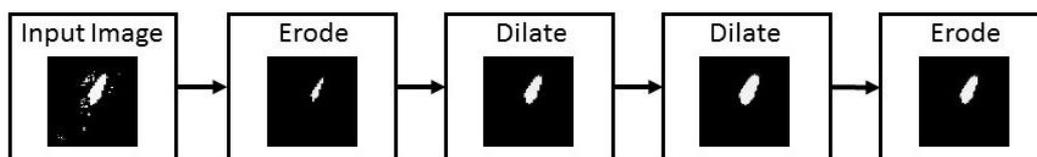
Gambar 4.8 Hasil *foreground mask* algoritma *Kernel Density Estimation*

Dalam *foreground mask* hasil dari algoritma ini, pada kotak merah dapat dilihat bahwa, objek *background* yang bergerak terdeteksi sebagai *foreground*. Dalam kotak merah terdapat daerah piksel putih, walaupun pada kotak merah bawah daerah berwarna putih hanya terlihat sedikit saja. Sperma bergerak yang terdeteksi dalam kotak kuning, terlihat terbelah menjadi beberapa bagian dan terdapat noise disekitarnya. Pada kotak kuning, sperma bergerak yang terdeteksi terlihat samar dan terlihat seperti objek yang tidak utuh dengan dikelilingi noise. Hasil seperti ini tidak terjadi pada algoritma *background subtraction* lainnya. Jika diperhatikan secara keseluruhan *frame*, semua objek sperma bergerak yang terdeteksi terdapat *noise* disekitar daerah kepala sperma.

4.3 Hasil *Morphological Operation*

Morphological Operation yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Opening Operation* dilanjutkan dengan *Closing Operation*, atau secara berturut – turut erosi – dilasi – dilasi – erosi. *Opening operation* bertujuan untuk menghilangkan *noise* yang muncul pada gambar *foreground* dari hasil proses *background subtraction* dan mengembalikan kembali bentuk objek yang berubah setelah proses menghilangkan *noise* (erosi). *Closing operation* bertujuan untuk menutup lubang – lubang kecil pada objek, menyambungkan bentuk sperma yang terpisah, dan menyempurnakan bentuk dari sperma bergerak yang terdeteksi.

Input dari proses *morphological operation* adalah *foreground mask* hasil dari proses *background subtraction*, dimana gambar tersebut memiliki *noise* dan terkadang objek sperma bergerak yang terekstraksi tidak utuh – terbagi menjadi dua bagian atau lebih. Dan hasil dari *morphological operation* adalah *foreground mask* dimana *noise* yang muncul telah dihilangkan, dan objek sperma yang terdeteksi kembali utuh, sehingga setiap BLOB (*binary large object*) yang ada merupakan representasi dari objek sperma yang bergerak pada *frame* video. Contoh hasil (pada objek sperma bergerak yang terdeteksi) dari setiap tahap yang dilakukan pada proses operasi morfologi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Contoh hasil operasi morfologi

Setiap algoritma *background subtraction* menghasilkan *foreground mask* yang berbeda – beda, dan hasil dari setiap *morphological operation* pada hasil dari setiap algoritma *background subtraction* akan dijelaskan pada pembahasan dibawah ini.

4.3.1 *Frame Difference*

Pada pembahasan kali ini akan dibahas mengenai hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Frame Difference*. Hasil *foreground mask* dari algoritma *Frame Difference* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil *Foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Frame Difference*

Pada Gambar 4.10 diatas, setelah *morphological operation* pada hasil *foreground mask* dari algoritma *Frame Difference* dapat dilihat bahwa, *noise* yang muncul pada sekitar objek sperma yang bergerak yang terdeteksi telah hilang. Tetapi, objek sperma bergerak yang terdeteksi terlihat terbagi menjadi 2 bagian atau lebih dan objek *background* yang bergerak masih terdeteksi sebagai objek *foreground*. Hal ini terjadi karena dari sebelum proses *morphological operation*, sperma bergerak yang terdeteksi telah terbagi menjadi 2 bagian atau lebih, sehingga bagaimanapun proses *morphological operation* akan dilakukan, tidak akan merubah banyak dari hasil yang telah dicapai karena memang pada hasil *foreground mask* dalam proses *background subtraction* menggunakan algoritma *Frame Difference* ini, jumlah bagian objek sperma yang terpisah tidak pasti.

4.3.2 *Weighted Moving Mean*

Pada pembahasan kali ini akan dibahas mengenai hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Weighted Moving Mean*. Hasil *foreground mask* dari algoritma *Weighted Moving Mean* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Weighted Moving Mean*

Pada Gambar 4.11 diatas, setelah *morphological operation* pada hasil *foreground mask* dari algoritma *Weighted Moving Mean* dapat dilihat bahwa daerah objek sperma bergerak yang terdeteksi terlihat menjadi satu bukannya terpisah, meskipun tidak membentuk sperma yang utuh. Hal ini terjadi karena, dari hasil *foreground mask* yang terbentuk pada proses *background subtraction*, objek sperma terdeteksi terpisah menjadi beberapa bagian, tetapi dengan proses *morphological operation* yang dilakukan, objek sperma berhasil disatukan kembali menjadi satu objek. Memang ada beberapa sperma yang terlihat terpisah, tetapi jumlahnya tidak sebanyak seperti pada hasil di algoritma sebelumnya. Objek *background* yang bergerak masih terdeteksi sebagai *foreground* dalam algoritma ini, tetapi setelah *morphological operation*, daerahnya terlihat mengecil.

4.3.3 *Weighted Moving Variance*

Pada pembahasan kali ini akan dibahas mengenai hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Weighted Moving Variance*. Hasil *foreground mask* dari algoritma *Weighted Moving Variance* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Weighted Moving Variance*

Pada Gambar 4.12 diatas, setelah *morphological operation* pada hasil *foreground mask* dari algoritma *Weighted Moving Variance* dapat dilihat bahwa sperma bergerak yang terdeteksi menjadi lebih utuh atau tidak terbagi menjadi beberapa bagian, meskipun bentuk objek tidak terlihat seperti sperma. Ada beberapa sperma yang terlihat terbelah. Beberapa objek sperma lainnya terlihat memiliki lubang yang cukup besar ditengah objek, tetapi daerah disekitarnya tetap terlihat menyambung. Hal ini tidak mempengaruhi hasil deteksi, karena proses deteksi dilakukan dengan mendeteksi kontur. Objek *background* yang bergerak masih terlihat terdeteksi sebagai *foreground*, tetapi objek ini hanya memiliki daerah yang kecil, hal ini tetap akan berpengaruh terhadap hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak, karena dalam penelitian ini semua BLOB pada gambar *binary* diatas dianggap sebagai representasi dari sperma bergerak pada *frame* tersebut.

4.3.4 *Single Gaussian*

Pada pembahasan kali ini akan dibahas mengenai hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Single Gaussian*. Hasil *foreground mask* dari algoritma *Single Gaussian* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Single Gaussian*

Pada Gambar 4.13 diatas, setelah *morphological operation* pada hasil *foreground mask* dari algoritma *Single Gaussian* dapat dilihat bahwa *noise* disekitar sperma bergerak yang terdeteksi telah hilang, objek sperma bergerak yang terdeteksi terlihat utuh meskipun ada beberapa sperma yang terdeteksi hanya memiliki luas daerah yang kecil, dan objek *background* yang bergerak tidak terdeteksi sebagai *foreground* objek dalam hasil *foreground mask* baik sebelum maupun setelah proses *morphological operation*. Dari hasil *foreground mask* pada algoritma *Single Gaussian* ini, terlihat beberapa sperma terbagi menjadi dua bagian, tetapi jumlahnya hanya sedikit jika dibandingkan dengan hasil pada algoritma – algoritma sebelumnya. Hal ini memperlihatkan bahwa algoritma ini memang sesuai untuk tantangan dan keuntungan yang ada dalam melakukan deteksi dan perhitungan terhadap sperma yang bergerak.

4.3.5 Gaussian Mixture Model

Pada pembahasan kali ini akan dibahas mengenai hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Gaussian Mixture Model*. Hasil *foreground mask* dari algoritma *Gaussian Mixture Model* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Gaussian Mixture Model*

Pada Gambar 4.14 diatas, setelah proses *morphological operation* hasil *foreground mask* dari algoritma *Single Gaussian* dapat dilihat bahwa banyak objek sperma bergerak yang terdeteksi sudah terlihat utuh atau telah menyambung kembali, jika dibandingkan dengan *foreground mask* sebelum proses *morphological operation* dimana banyak terlihat objek sperma terbelah menjadi 2 bagian atau lebih. Tetapi, banyak *noise* yang terdeteksi sebagai objek *foreground*, dan objek *background* yang bergerak juga masih terdeteksi sebagai objek *foreground*, meskipun *noise* dan objek *background* yang bergerak ini hanya memiliki luas daerah yang kecil. Hal ini akan mempengaruhi hasil deteksi dan perhitungan dari sperma yang bergerak.

4.3.5 Kernel Density Estimation

Pada pembahasan kali ini akan dibahas mengenai hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Kernel Density Estimation*. Hasil *foreground mask* dari algoritma *Kernel Density Estimation* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat pada Gambar 4.15.

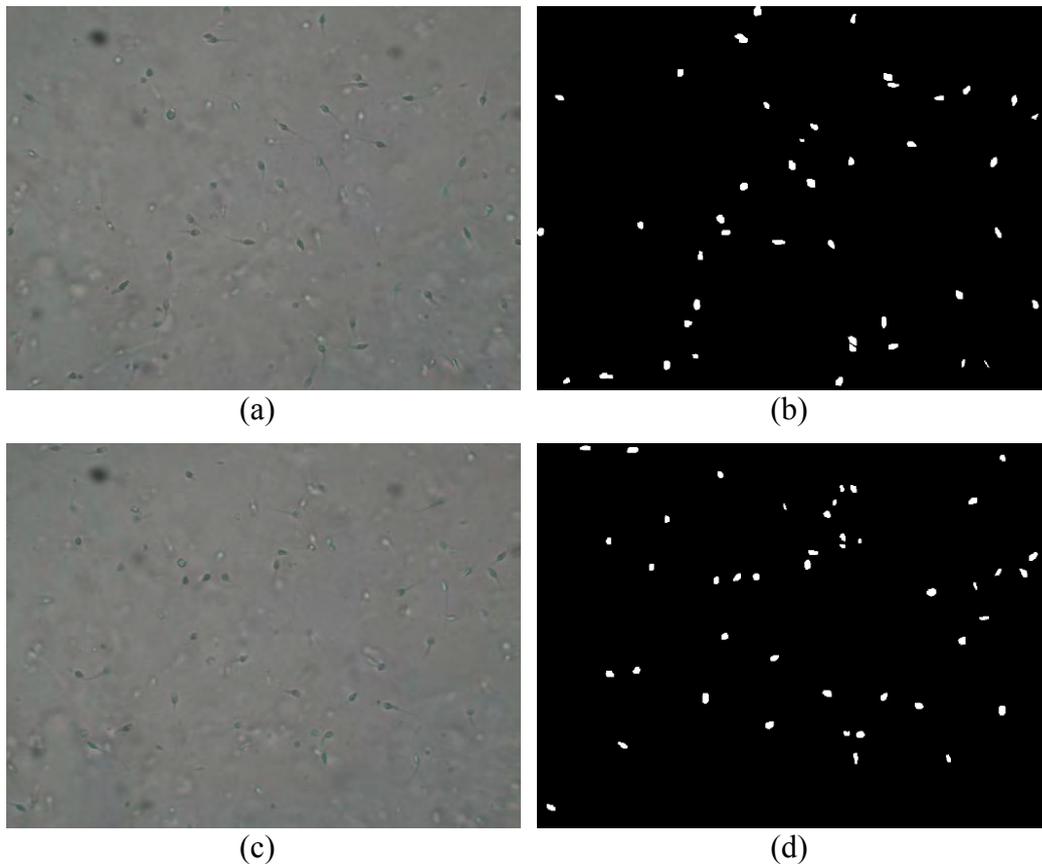


Gambar 4.15 Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* dari algoritma *Kernel Density Estimation*

Pada Gambar 4.15 diatas, hasil *foreground mask* dari algoritma *Kernel Density Estimation* setelah proses *morphological operation* dapat dilihat bahwa objek sperma bergerak yang terdeteksi terlihat telah kembali menyambung menjadi satu objek meskipun bentuknya tidak terlihat seperti sperma. Ada beberapa objek *background* yang bergerak yang masih terdeteksi sebagai objek *foreground*. Dan juga masih banyak *noise* yang muncul pada hasil *foreground mask*. *Noise* yang muncul ini bisa diatasi dengan memberi batasan dari proses deteksi BLOB, karena *noise* yang muncul ini mempunyai luasan yang kecil.

4.4 Hasil *Ground Truth Image*

Gambar *ground truth* diperoleh dengan cara mengamati secara manual daerah – daerah pada *frame* video yang terdapat objek sperma yang bergerak. Gambar *ground truth* ini akan digunakan sebagai pembanding dari hasil deteksi dan perhitungan sperma. Untuk memastikan daerah tersebut memang terdapat objek sperma yang bergerak, kami mengamati 10 *frame* sebelum dan 10 *frame* sesudah dari *frame* yang akan kami buat 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. Contoh dari *frame* asli dan gambar *ground truth* – nya pada *frame* 30 dan 60 dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Hasil gambar *ground truth*: (a) *Frame* 30 (b) *Ground truth frame* 30 (c) *Frame* 60 (d) *Ground truth frame* 60

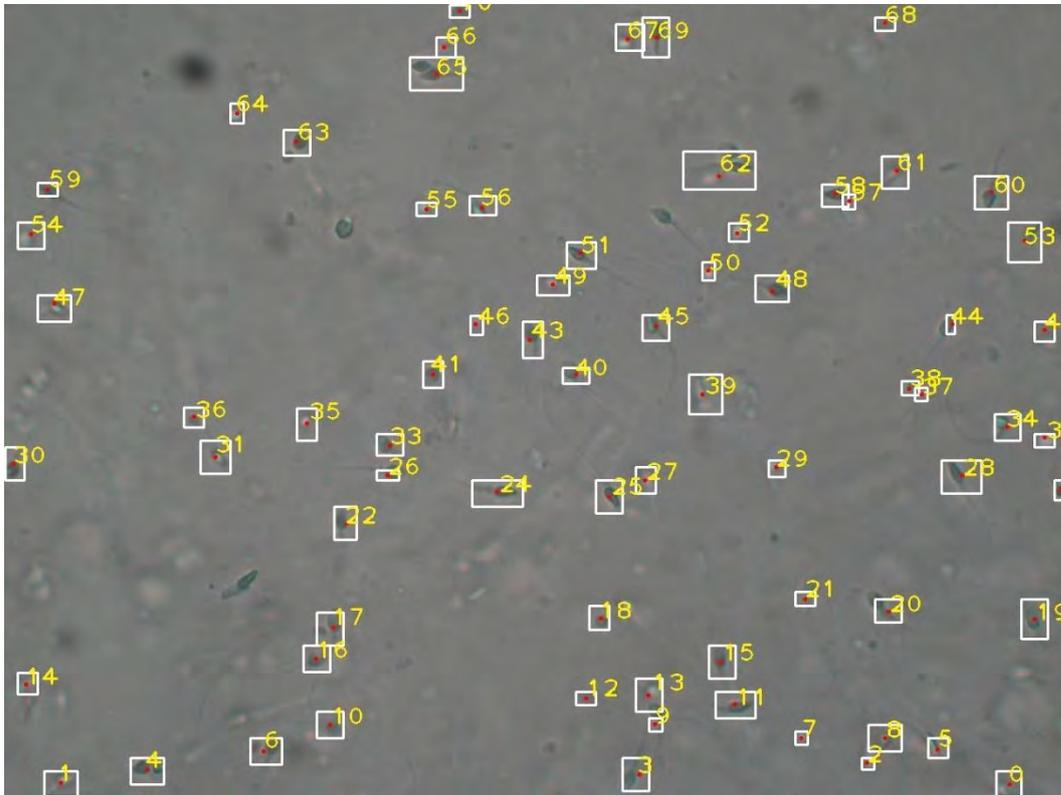
4.5 Pengujian Deteksi dan Penghitungan Sperma

Setelah melalui proses *morphological operation*, diasumsikan bahwa *foreground mask* yang terbentuk sudah tidak memiliki *noise* dan objek sperma yang terpisah telah tersambung kembali. Sehingga setiap blob (*Binary Large Object*) yang ada pada *foreground mask* merupakan representasi dari objek sperma yang bergerak. Untuk keperluan visualisasi, setiap blob yang terbentuk ini akan dideteksi berdasarkan kontour-nya sehingga dapat diketahui bentuk kontur, jumlah keseluruhan kontur, dan lokasi titik tengah dari setiap objek sperma yang bergerak. Dari informasi ini, kemudian diberi *bounding box* dan urutan dari sperma bergerak yang terdeteksi pada *frame* asli dari video, sehingga dapat dilihat bahwa sistem telah berhasil dalam melakukan deteksi dan perhitungan sperma.

Pengujian hasil deteksi dan perhitungan sperma ini akan dilakukan dengan cara membandingkan secara manual dari hasil deteksi dan perhitungan sperma dengan gambar *ground truth* dari objek sperma yang bergerak yang merupakan hasil dari pengamatan manual. Perbandingan ini dilakukan sebanyak 10x dengan mengambil hasil deteksi pada setiap 30 frame dari video, sehingga membentuk urutan *frame*: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, dan 300. Hasil perbandingan tersebut kemudian dianalisa menggunakan *ROC Analysis* sehingga diperoleh nilai: *True positive* (TP) untuk sperma yang ada, dan terdeteksi ada. *False Positive* (FP) untuk sperma yang ada, dan terdeteksi tidak ada. *False Negative* (FN) untuk sperma yang tidak ada, terdeteksi ada. Setelah diperoleh nilai – nilai tersebut, maka akan dihitung nilai *precision*, *recall*, dan *f-measure* dari setiap algoritma yang digunakan, sehingga dapat diketahui mana algoritma *background subtraction* yang paling sesuai dalam kasus deteksi dan perhitungan sperma bergerak pada video. Penjabaran mengenai hasil deteksi dan perhitungan sperma serta hasil pengujiannya akan dijelaskan pada pembahasan bagian selanjutnya dalam sub-bab ini.

4.5.1 Frame Difference

Hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma *Frame Difference* dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma *Frame Difference*

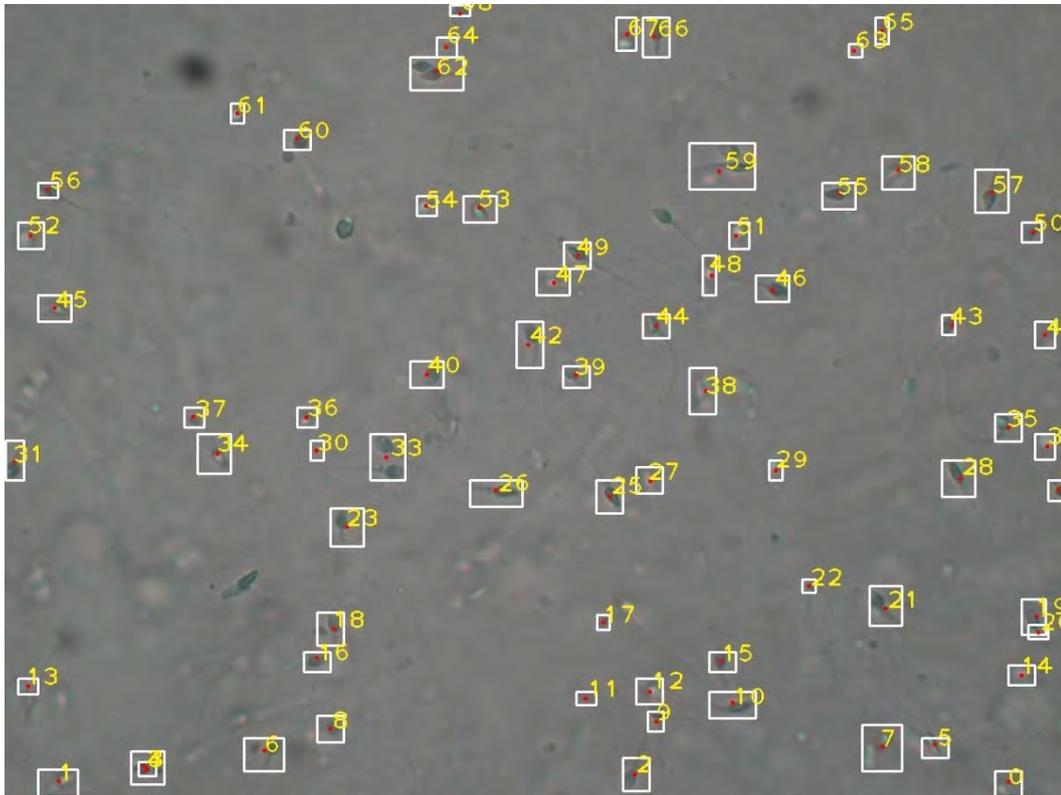
Tabel 4.1 menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma *Frame Difference* dengan gambar *ground truth*.

Tabel 4.1 Hasil pengujian algoritma *Frame Difference*

No Frame	Jumlah objek	TP	FP	FN
30	41	22	19	3
60	40	27	13	4
90	48	28	20	3
120	39	21	18	10
150	33	21	12	6
180	29	17	12	2
210	33	22	11	0
240	42	28	14	0
270	38	20	18	2
300	31	23	8	4

4.5.2 Weighted Moving Mean

Hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma *Weighted Moving Mean* dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma *Weighted Moving Mean*

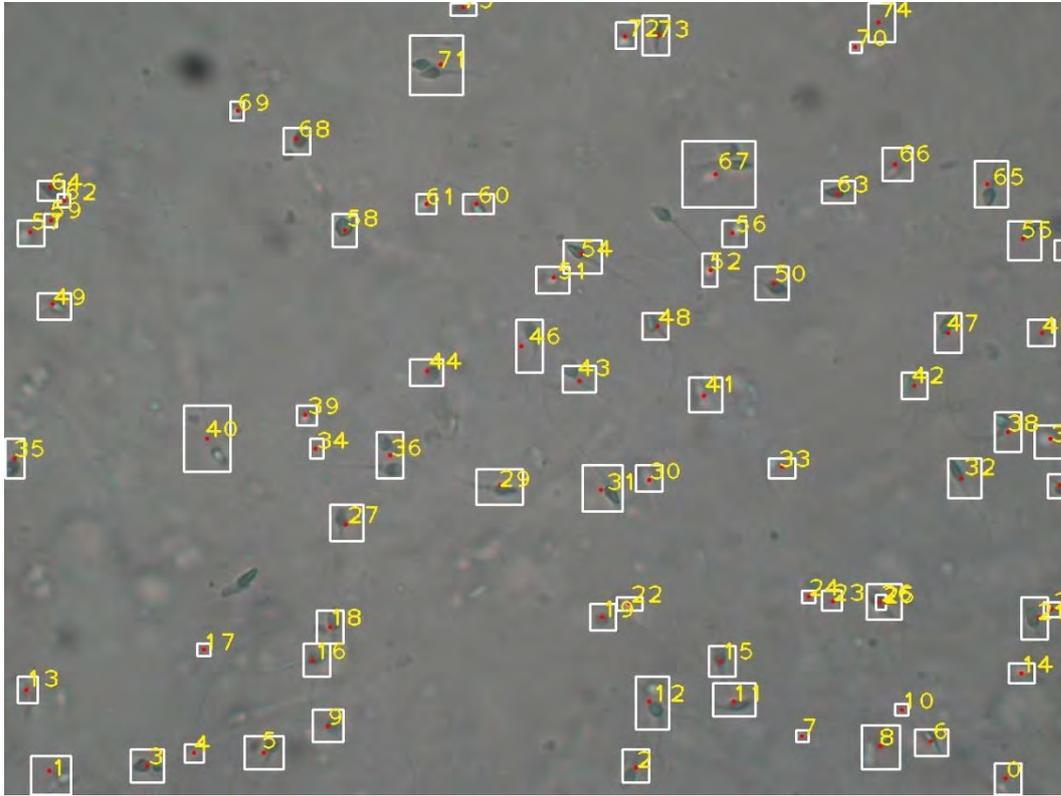
Tabel 4.2 menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma *Weighted Moving Mean* dengan gambar *ground truth*.

Tabel 4.2 Hasil pengujian algoritma *Weighted Moving Mean*

No Frame	Jumlah objek	TP	FP	FN
30	41	22	19	4
60	40	31	9	4
90	48	36	12	5
120	39	25	14	6
150	33	23	10	8
180	29	25	4	10
210	33	22	11	3
240	42	27	15	4
270	38	25	13	6
300	31	27	4	5

4.5.3 Weighted Moving Variance

Hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma *Weighted Moving Variance* dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma *Weighted Moving Variance*

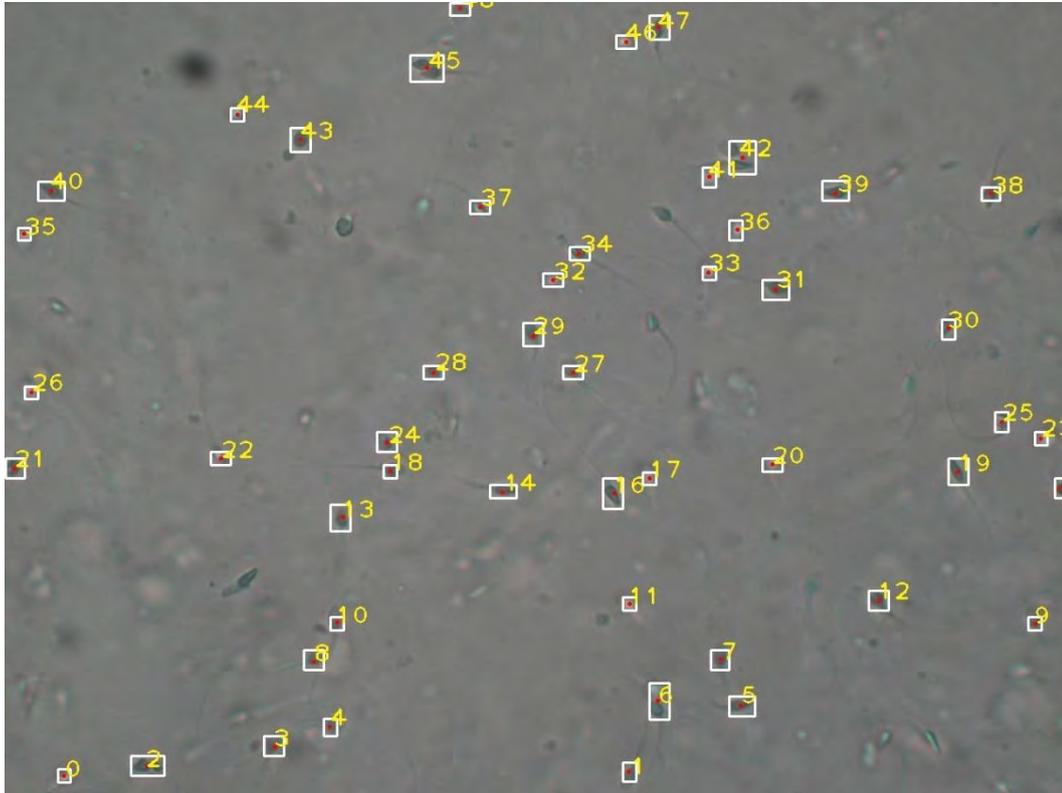
Tabel 4.3 menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma *Weighted Moving Variance* dengan gambar *ground truth*.

Tabel 4.3 Hasil pengujian algoritma *Weighted Moving Variance*

No Frame	Jumlah objek	TP	FP	FN
30	41	38	3	6
60	40	31	9	12
90	48	39	9	10
120	39	35	4	5
150	33	28	5	7
180	29	28	1	6
210	33	27	6	8
240	42	41	1	8
270	38	32	6	8
300	31	28	3	9

4.5.4 Single Gaussian

Hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma *Single Gaussian* dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma *Single Gaussian*

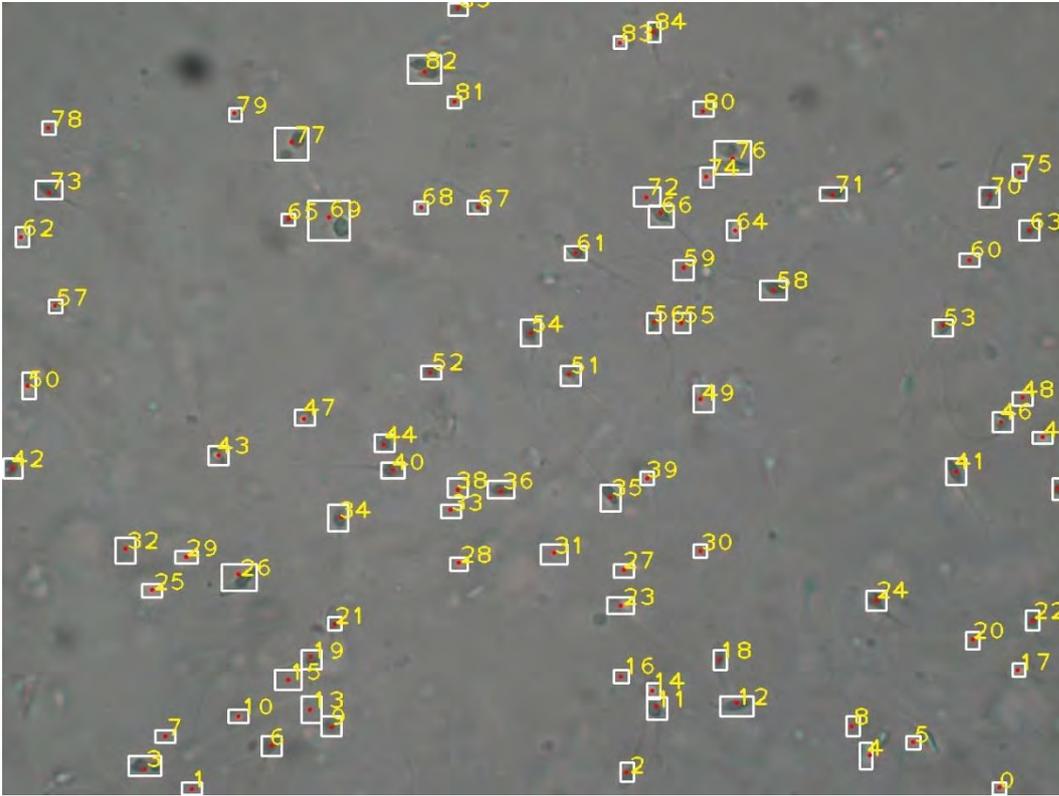
Tabel 4.4 menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma *Single Gaussian* dengan gambar *ground truth*.

Tabel 4.4 Hasil pengujian algoritma *Single Gaussian*

No Frame	Jumlah objek	TP	FP	FN
30	41	34	7	0
60	40	26	14	5
90	48	35	13	2
120	39	29	1	2
150	33	28	5	2
180	29	24	5	1
210	33	26	7	3
240	42	29	3	0
270	38	28	10	2
300	31	27	4	2

4.5.5 Gaussian Mixture Model

Hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma *Gaussian Mixture Model* dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma *Gaussian Mixture Model*

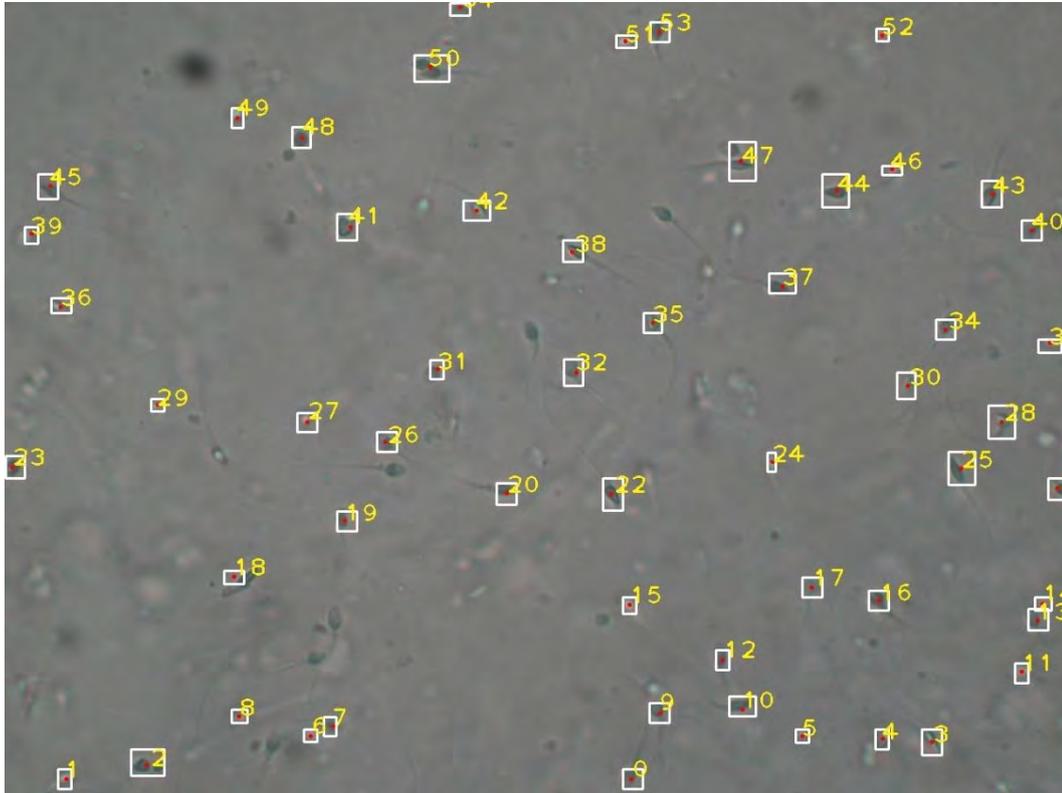
Tabel 4.5 menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma *Gaussian Mixture Model* dengan gambar *ground truth*.

Tabel 4.5 Hasil pengujian algoritma *Gaussian Mixture Model*

No Frame	Jumlah objek	TP	FP	FN
30	41	18	23	16
60	40	24	16	2
90	48	30	18	6
120	39	29	10	2
150	33	25	8	4
180	29	24	5	5
210	33	25	8	6
240	42	29	13	1
270	38	36	2	3
300	31	27	4	3

4.5.6 Kernel Density Estimation

Hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma *Kernel Density Estimation* dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Hasil deteksi dan perhitungan sperma bergerak dari algoritma *Kernel Density Estimation*

Tabel 4.6 menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma *Kernel Density Estimation* dengan gambar *ground truth*.

Tabel 4.6 Hasil pengujian algoritma *Kernel Density Estimation*

No Frame	Jumlah objek	TP	FP	FN
30	41	24	17	4
60	40	23	17	2
90	48	26	22	3
120	39	18	21	5
150	33	12	21	3
180	29	6	23	6
210	33	18	15	4
240	42	19	23	1
270	38	19	19	1
300	31	16	15	3

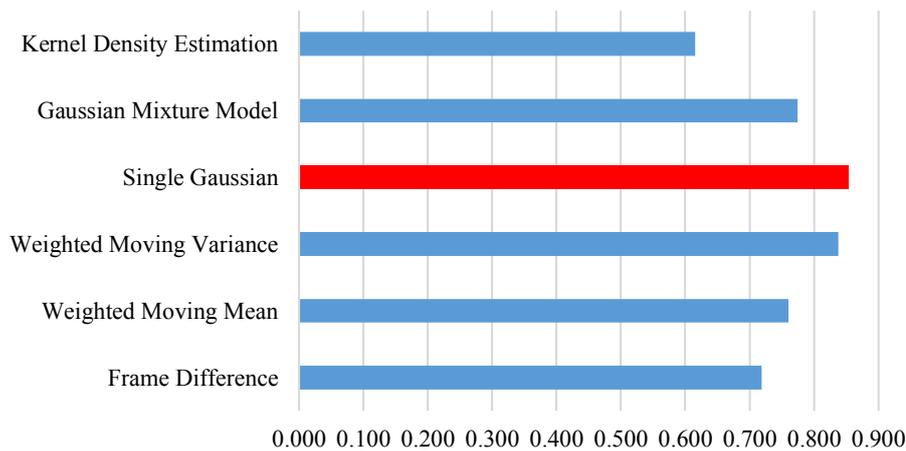
4.6 Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya, kemudian dihitung nilai *precision*, *recall* dan *f-measure* dari masing – masing algoritma yang dicoba. Hasil dari *precision*, *recall*, dan *f-measure* dari setiap algoritma *background subtraction* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.7. Dan hasil perbandingan nilai *f-measure* yang disajikan dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 4.23.

Tabel 4.7 Hasil *precision*, *recall*, dan *f-measure*

Algoritma	Precision	Recall	F-Measure
Frame Difference	0.870	0.612	0.719
Weighted Moving Mean	0.827	0.703	0.760
Weighted Moving Variance	0.805	0.874	0.838
Single Gaussian	0.907	0.805	0.853
Gaussian Mixture Model	0.847	0.713	0.774
Kernel Density Estimation	0.849	0.483	0.616

Perbandingan nilai *F-Measure*



Gambar 4.23 Grafik nilai *f-measure* dari algoritma yang digunakan

BAB 5

KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA

5.1 Kesimpulan

Dalam buku tesis ini telah dibahas tentang deteksi dan perhitungan sperma manusia menggunakan algoritma *Single Gaussian background subtraction*. Algoritma *Single Gaussian* 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 *Single Gaussian* memiliki nilai *f-measure* sebesar 0.853. Hasil ini merupakan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan algoritma *background subtraction* lain yang dicoba. Ini menunjukkan bahwa algoritma *Single Gaussian* 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 *Weighted Moving Variance* sebesar 0.838. Beda nilai antara algoritma *Single Gaussian* dengan *Weighted Moving Variance* hanya 0.015, hal ini memperlihatkan bahwa *basic model background subtraction* juga mampu untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma yang bergerak.

5.2 Penelitian selanjutnya

Dalam penelitian ini sperma yang bergerak telah dapat dideteksi dan dihitung jumlahnya. Hal ini dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan 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.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

- [1] Abbiramy, V.S., Shanthi, V., dan Allidurai, C., (2010), “Spermatozoa Detection, Counting and Tracking in Video Streams to Detect Asthenozoospermia”, *International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)*, pp. 265-270.
- [2] Alan Bovic. (2009). *The Essential Guide to Image Processing*.
- [3] Bouwmans, T., (2014), “Traditional and Recent Approaches in Background Modeling for Foreground Detection: An Overview”, *Computer Science Review*, Vol. 11-12, pp. 31–66.
- [4] Bouwmans T., Baf, F.E., dan Vachon, B., (2008), “Background Modeling using Mixture of Gaussians for Foreground Detection - A Survey”, *Recent Patents on Computer Science*, Vol. 1, No. 3, pp. 219–237.
- [5] Hardijanto, Susilowati S., Hernawati T., Sardjito T., Suprayogi T.W. (2010), *Buku Ajar Inseminasi Buatan*, Pusat Penerbitan dan Percetakan Unair, Surabaya.
- [6] Hayati A. (2010), *Spermatologi*, Pusat Penerbitan dan Percetakan Unair, Surabaya
- [7] Hofmann, M., Tiefenbacher P., and Rigoll, G. (2012), “Background Segmentation with Feedback: The Pixel-Based Adaptive Segmenter”, *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, pp. 38-43.
- [8] Indah Susilawati. 2009. *Teknik Pengolahan Citra. Mathematical Morphology*. Universitas Mercu Buana, Yogyakarta
- [9] KaewTraKulPong, P., dan Bowden, R., (2002), “An Improved Adaptive Background Mixture Model for Real-time Tracking with Shadow Detection”, *Video-Based Surveillance Systems Springer*, pp. 135–144.
- [10] Khachane, M.Y., Ramteke, R.J., dan Manza, R.R, (2015), “Fuzzy Rule Based Classification of Human Spermatozoa”, *in proc. International Conference on Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO)*, pp. 1-5.
- [11] Leung, C., Zhe, L., Esfandiari, N., Casper, R.F., dan Sun, Y., (2010), “Detection and Tracking of Low Contrast Human Sperm Tail”, *IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, pp. 263-268.
- [12] Li, Q., Chen, X., Zhang, H., Yin, L., Chen, S., Wang, T., Lin, S., Liu, X., Zhang, X., and Zhang, R., (2012), “Automatic Human Spermatozoa Detection in Microscopic Video Streams Based on OpenCV,” *5th*

- International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, pp. 224-227.
- [13] Linda G Shapiro, George C Stockman (2001). *Computer Vision*. pp. 279-325, New Jersey, Prentice Hall.
- [14] Maddalena, L., dan Petrosino, A., (2008), “A Self-Organizing Approach to Background Subtraction for Visual Surveillance Applications”, *IEEE Transactions Image Processing*, Vol. 17, no. 7, pp. 1168–1177.
- [15] Murinto Eko Aribowo, Wahyu N. (2001). *Deteksi Jenis Warna Kulit Wajah untuk Klasifikasi Ras Manusia menggunakan Transformasi Warna*. Universitas Ahmad Dahlan Jogjakarta
- [16] Nurhadiyatna, A., Latifah, A.L., Fryantoni, D., Wirahman, T., Wijayanti, R., dan Muttaqien, F.H., (2014), “Comparison and Implementation of Motion Detection Methods for Sperm Detection and Tracking”, *International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS)*, pp. 1-5.
- [17] Parks, D.H. dan Fels, S.S. (2008), “Evaluation of Background Subtraction Algorithms with Post-Processing”, *Advanced Video and Signal Based Surveillance, 2008. AVSS'08. IEEE Fifth International Conference on. IEEE*, pp. 192-99.
- [18] Oku, H., Ishikawa, M., Ogawa, N., Shiba, K., dan Yoshida, M., (2008) “How to Track Spermatozoa using High-Speed Visual Feedback”, *Proc. International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS'2008)*, pp. 125-128.
- [19] Ravanfar, M.R., and Moradi, M.H., (2011), “Low Contrast Sperm Detection and Tracking by Watershed algorithm and Particle Filter”, *18th Iranian Conference of Biomedical Engineering (ICBME)*, pp. 260-263.
- [20] Sobral, A. dan Vacavant, A. (2014), “A Comprehensive Review of Background Subtraction Algorithms Evaluated with Synthetic and Real Videos”, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 122, pp. 4-21.
- [21] Stauffer, C., Grimson, W.E.L., (1999), “Adaptive background mixture models for real-time tracking”, *Proceedings IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp 246-252.
- [22] Sutoyo. T., Mulyanto. E., Suhartono. V., Nurhayati, O.D., Wijanarto (2009). *Teori Pengolahan Citra Digital*. Universitas Dian Nuswantoro, Semarang.
- [23] World Health Organization, (2010), *WHO laboratory manual for the examination of human semen*, Fifth Edition.

- [24] Wren, C., Azarbayejani, A., Darrell, T., and Pentland, A. (1997), “Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 19, pp. 780-785.
- [25] Zivkovic, Z., (2004), “Improved adaptive Gaussian mixture model for background subtraction”, *IEEE International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Biografi Penulis



Nama : Hario Baskoro Basoeki
TTL : Surabaya, 14 Februari 1993
Jenis Kelamin : Laki – Laki
Alamat : Mutiara Citra Asri C3/23 Candi – Sidoarjo 61271
Email : basoeki.hario@gmail.com
Telp : 085731000042

Riwayat Pendidikan

- 2009 – 2013 : D4 Teknik Komputer
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- 2006 – 2009 : SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo.
- 2003 – 2006 : SMPN 1 Tanggulangin Sidoarjo.
- 1998 – 2003 : SDN Sumorame Sidoarjo.