



DISERTASI EE-186601

**PENENTUAN ABNORMALITAS LINTASAN
PERGERAKAN SPERMATOZOA PADA VIDEO
MIKROSKOPIS MENGGUNAKAN MODIFIKASI FRAME
DIFFERENCE DAN REGRESI**

I GEDE SUSRAMA MAS DIYASA
07111160010018

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

PROGRAM DOKTOR
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PENENTUAN ABNORMALITAS LINTASAN PERGERAKAN SPERMATOZOA PADA VIDEO MIKROSKOPIS MENGGUNAKAN MODIFIKASI FRAME DIFFERENCE DAN REGRESI LINEAR

Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Doktor
di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

I Gede Susrama Mas Diyasa (NRP. 07111160010018)

Tanggal Ujian : 8 Januari 2019 Periode Wisuda :

Prof. Dr. Ir. Mauridhi HeryPurnomo, M.Eng
NIP. 19580916 198601 1 001


.....

(Pembimbing I)

Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.
NIP. 19690730 199512 1 001


.....

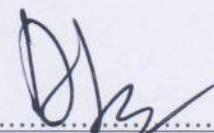
(Pembimbing II)

Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, S.T., M.T.
NIP. 19680601 199512 1 009


.....

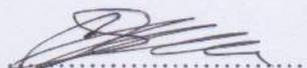
(Penguji I)

Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T.
NIP. 1976050 5200812 1 003

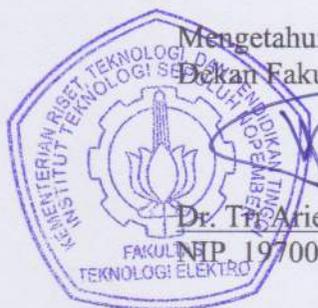

.....

(Penguji II)

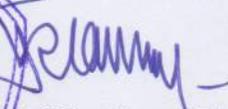
Prof. Dr. I K. G. Darma Putra, S.Kom, M.T.
NIP. 19740424 199903 1 003


.....

(Penguji III)



Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknologi Elektro


Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP. 19700212 199512 1001

Halaman ini sengaja dikosongkan

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : I Gede Susrama Mas Diyasa
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
NRP : 07111160010018

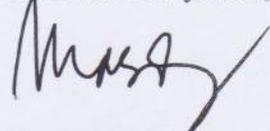
dengan ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan disertasi dengan judul:

PENENTUAN ABNORMALITAS LINTASAN PERGERAKAN SPERMATOZOA PADA VIDEO MIKROSKOPIS MENGGUNAKAN MODIFIKASI FRAME DIFFERENCE DAN REGRESI LINEAR

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

Surabaya, 8 Januari 2019

Yang Membuat Pernyataan,



I Gede Susrama Mas Diyasa

NRP. 07111160010018

Halaman ini sengaja dikosongkan

PENENTUAN ABNORMALITAS LINTASAN PERGERAKAN SPERMATOZOA PADA VIDEO MIKROSKOPIS MENGGUNAKAN MODIFIKASI FRAME DIFFERENCE DAN REGRESI LINEAR

Nama : I Gede Susrama Mas Diyasa
NRP : 07111160010002
Promotor : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Co-Promotor : Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini mengusulkan beberapa metode dalam deteksi, menghitung jumlah dan pelacakan lintasan pergerakan spermatozoa berbasis video secara cerdas. Tiga bagian besar yang diteliti, yaitu: penentuan abnormalitas morfologi spermatozoa, abnormalitas motility spermatozoa yang terdiri dari modifikasi background subtraction untuk penjejakan spermatozoa dan penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa berdasarkan lintasan.

Pada bagian penentuan abnormalitas morfologi digunakan metode *SVM (Support Vector Machine)* yang dibandingkan dengan metode *K-NN (K-Nearest Neighbour)* untuk identifikasi abnormalitas pada bentuk kepala spermatozoa. Pada bagian pelacakan kepala spermatozoa digunakan metode *M-Frame Difference*. Pada bagian ekstraksi fitur untuk penentuan abnormalitas bentuk kepala spermatozoa antara lain *area*, *eccentricity* dan *ECD* sesudah dilakukan *BLOB Analysis*. Pada bagian kedua dengan memodifikasi beberapa algoritma background subtraction untuk memisahkan objek sperma dari cairan semen. Penelitian ini melakukan deteksi dan perhitungan spermatozoa yang bergerak pada data video. Untuk melakukan deteksi pada sperma yang bergerak, metode *Mixture of Gaussian V2 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.

Bagian ketiga dilakukan penentuan abnormalitas pergerakan berbasis algoritma regresi linier pada spermatozoa dalam semen, dari lintasan yang terbentuk dianalisa normal tidaknya pergerakan sperma dalam semen. Dari hasil percobaan yang dilakukan video data spermatozoa manusia, ternyata metode di atas didapat posisi pergerakan *spermatozoa* hasil penjejakan dikenali bentuk lintasannya berdasarkan rata-rata jarak posisinya terhadap garis regresi linier, dengan *threshold RMS* sebesar 10 terdapat 10 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif

Kata kunci : *M-Frame Difference Algorithm*, *Mixture of Gaussian V2*, Regresi Linear, Lintasan Spermatozoa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DETERMINATION OF TRACK MOVEMENT ABNORMALITIES SPERMATOOZA IN MICROSCOPIC VIDEO USING MODIFICATION FRAME DIFFERENCE AND LINEAR REGRESSION

Name : I Gede Susrama Mas Diyasa
NRP : 07111160010002
Promotor : Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Co-Promotor : Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T

ABSTRACT

sections were examined, namely: determination of morphological abnormalities of spermatozoa, abnormalities of spermatozoa motility which consisted of the modification of background subtraction for tracking spermatozoa, and determination of abnormalities of spermatozoa movement based on the trajectory.

In the determination of morphological abnormalities, SVM (Support Vector Machine) method is used which is then compared to the K-NN (K-Nearest Neighbor) method to identify abnormalities in the spermatozoa's head shape. In the tracking section of the spermatozoa head, the M-Frame Difference method was used. Some extraction features performed to determine spermatozoa head shape abnormalities include area, eccentricity, and ECD after BLOB Analysis. The second part modified some background subtraction algorithms to separate sperm objects from semen. This study detected and calculated moving spermatozoa in video data. To detect the moving sperm, the Mixture of Gaussian V2 background subtraction method is used. This method is suitable in the case of sperm detection because sperm data tends to be uni-modal. This study also compared other background subtraction methods for sperm detection.

The third part determined the movement abnormalities based on the linear regression algorithm on spermatozoa in cement; the trajectory formed is analyzed whether the movement of sperm in cement is normal or not. From the results of experiments conducted on human spermatozoa video data, it turns out that the above method obtained the position of spermatozoa tracking results identified by the shape of the track based on the average distance of the linear regression line. With an RMS threshold of 10, there are 10 progressive spermatozoa and 4 non-progressive spermatozoa.

Keywords: M-Frame Difference Algorithm, Mixture of Gaussian V2, Linear Regression, Spermatozoa Path.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan Rahmat, karunia, berkah dan hidayah-Nya, hingga terselesaikannya penulisan disertasi yang berjudul "Penentuan Abnormalitas Lintasan Pergerakan Spermatozoa Pada Video Mikroskopis Menggunakan Modifikasi Frame Difference dan Regresi Linear". Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat akademik Program Doktor Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Banyak tantangan dan hambatan yang penulis hadapi dalam penulisan disertasi ini. Dan atas pertolongan Tuhan Yang Maha Esa dan bantuan dari berbagai pihak akhirnya penulisan ini dapat kami selesaikan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. selaku pembimbing dan Bapak Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T. selaku co-pembimbing yang telah dengan sabar memberikan arahan, pembimbingan dan semangat dalam menempuh studi Program Doktor di Teknik Elektro ITS Surabaya. Beliau-beliau telah membimbing kami hingga dapat mempublikasikan hasil penelitian kami di Seminar Internasional dan Jurnal Internasional terindeks Scopus dan memberikan berbagai solusi yang sangat bermanfaat dalam pengembangan hasil penelitian dan amanat Tri Dharma Perguruan Tinggi.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc, Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA, Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc., Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT., Dr. Eng Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng., Dr. Vita Lystianingrum Budiharto Putri, ST., M.Sc., Prof. Dr. Ir. Gamantyo Hendrantoro, Ph.D., Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT., dan Bapak/Ibu Dosen Teknik Elektro yang lain yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan masukan dan kritikan, baik pada saat progress kemajuan S3 maupun pada saat revisi Hasil Rapat Komisi Pertimbangan Fakultas (KPF)

yang sangat bermanfaat dalam perbaikan dan orisinalitas dari penelitian disertasi ini.

3. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D (alm) dan Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja, M.Eng., selaku Direktur dan Asisten Direktur Program Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Dr. Eng Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. dan Bapak Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. selaku Kepala dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
6. Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA, selaku Koordinator Program Pasca Sarjana Teknik Elektro.
7. Bapak Dr. Rony Seto, ST., MT, selaku Sekretaris Program Doktor Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
8. Segenap pengelola Program Pascasarjana (PPs) ITS, dosen dan karyawan PPs Jurusan Teknik Elektro ITS, Mbak Rany, Bapak Hartono, Bapak Supari serta Staff Administrasi lainnya yang telah memberikan banyak kelancaran dan bantuannya selama kami menempuh program pendidikan ini.
9. Beasiswa Program Pasca Sarjana (BPPS) DIKTI (2011-2013), Hibah Penelitian Disertasi Doktor (2017), dan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan ijin Tugas Belajar dan bantuan Tunjangan Studi selama menempuh program studi doktor di ITS Surabaya.
10. Bapak Prof. Dr. Ir. Akhmad Fauzi, M.MT. selaku Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan seluruh Pimpinan dan Pejabat di lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, terutama di lingkungan Fakultas Teknik dan Fakultas Ilmu Komputer, dan Program Studi Teknik Informatika dan Sistem Informasi. Atas dukungan moril maupun materiil kepada kami selama studi.

11. Seluruh Dosen dan Karyawan di lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, terutama di Fakultas Teknik dan Fakultas Ilmu Komputer, dan Program Studi Teknik Informatika dan Sistem Informasi. Terutama Bpk. Prof. Dr. Ir Teguh Soedarto, Bpk. Prof. Djohan Mashudi, Bpk. Sutiono, Ibu Ni Ketut Sari, Bpk. Purnomo Edi Sasongko, Ibu Asti Dwi Irfianti (alm), Bpk. Tuhu Agung Rachmanto, Bpk. Minto Waluyo, Bpk. Basuki Rachmat, Ibu Sintha Soraya Santi, Bpk. Budi Nugroho, Bpk. Doddy Ridwandono, Bpk. Mohammad Irwan Afandi, Bpk. Nur Cahyo Wibowo dan Bpk/Ibu dosen yang lain. Atas dukungan dan kerjasamanya selama kami menempuh studi.
12. Seluruh teman-teman di PUSKOM, Pusat Bahasa, Perpustakaan dan Biro Admik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, terutama Bpk. Sunarto, S.Kom yang banyak membantu kelancaran studi kami.
13. Seluruh teman-teman di Pusat Studi Pengembangan ICT dan Komunitas Robotika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, atas dukungan dan kerjasamanya selama kami menempuh studi.
14. Teman-teman alumni SMA Negeri 1 Mataram, yang masih terus berkomunikasi dan memberikan support agar anak desa ini sukses dalam menyelesaikan studi.
15. Bapak I Gede Suranadika, Ibu Cening Srimanik, orang tua kami, Bapak Karman (alm) dan Ibu Suharmi, mertua kami, dan semua saudara-saudara kami.
16. Seluruh rekan-rekan mahasiswa S3 terutama S3 Teknik Elektro seperjuangan : Aris Tjahyanto, Lie, Nyoman, Basuki Rahmat, Endang, Susyanto, Cahyo, Firman, Arifin, Fanani, Solekhan, Delta, Diah, Donny, Helmy, Harianto, Anjik, Max Muljono, Atik, Radi, Iwan, Aris Nasuha, Lukman, Tamaji, Tanwir, Suaib Halim, Pujiono, Suyanto, Fanani Polije, Anang, Alamsyah, Asti, dan lainnya.
17. Dan seluruh teman-teman, kenalan dan saudara-saudara yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, atas doa dan dukungannya selama ini.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih telah membantu selama melakukan kegiatan riset dan studi S3 ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberi balasan dengan pahala kebaikan yang sempurna. Demikian Laporan Disertasi ini disusun, segala masukan dan koreksi sangat diharapkan untuk penyempurnaan ke depan. Semoga bermanfaat.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	7
1.4. Manfaat Penelitian.....	9
1.5. Kontribusi Penelitian.....	9
1.6. Gambaran Umum dan Posisi Penelitian.....	10
1.7. Sistematika Penulisan Disertasi.....	12
BAB 2 STATE OF ART DAN KAJIAN PUSTAKA	17
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	17
2.2. Teori Umum.....	21
2.3. Pemrosesan Data Akusisi.....	23
2.3.1 Spermatozoa Manusia.....	23
2.3.2 Analisis Semen Manusia.....	24
2.3.3 Pengamatan Semen Secara Makroskospis.....	25
2.3.4 Pengamatan Semen Secara Mikrokospis.....	27
2.3.5 Mikroskop Optik.....	30
2.3.6 Akuisisi Data Sperma.....	33
2.4. Pemrosesan Awal Ketidaknormalan Sperma.....	34
2.4.1 <i>Preprossesing</i>	34

2.4.2.	<i>Background Substarction</i> Pada Video Spermatozoa	38
2.4.3.	Morphologi Matematis	50
2.4.4.	Segmentasi <i>Otsu Thresholding</i>	56
2.4.5.	Representasi Tepian	58
2.4.6.	Ekstraksi Fitur.....	58
2.4.7.	Klasifikasi.....	58
2.5.	Fitur-fitur Identifikasi Pergerakan Spermatozoa dengan Regresi Linear.....	65
2.5.1.	Fitur <i>Background Recontruction</i>	65
2.5.2.	Fitur <i>Background Subtraction</i>	67
2.5.3.	<i>Morphological Filtering</i>	67
2.5.4.	<i>Labeling</i> Objek dan Menghitung koordinat Titik Pusat	67
2.5.5.	Regresi Linear Lintasan Spermatozoa	68
2.5.6.	<i>Root Mean Square (RMS)</i>	69

BAB 3 PENENTUAN ABNORMALITAS MORFOLOGI SPERMATOZOA

.....		71
3.1.	Fitur-fitur Morfologi Spermatozoa.....	71
3.2.	Identifikasi Abnormalitas Spermatozoa.....	72
3.3.	Pelacakan Pergerakan Kepala Spermatozoa.....	74
3.3.1.	<i>Preprocessing</i>	74
3.3.2.	Pengujian <i>Preprocessing</i>	74
3.3.3.	Pengujian <i>Background Sustraction</i>	77
3.3.4.	Pengujian <i>Otsu Threshold</i>	79
3.3.5.	Pengujian Operasi Morfologi.....	80
3.3.6.	Segmentasi.....	81
3.3.7.	Ekstraksi Fitur Morfologi Spermatozoa.....	83
3.3.8.	Perhitungan Akurasi dengan Analisis <i>Receiver Operating Characteristics (ROC)</i>	84
3.3.9.	Pengujian Klasifikasi Spermatozoa.....	87

3.4.	Ringkasan Hasil.....	92
BAB 4 MODIFIKASI BACKGROUND SUBTRACTION UNTUK		
PENJEJAKAN SPERMATOZOA 94		
4.1.	Fitur-fitur Ekstraksi Deteksi Spermatozoa.....	94
4.2.	<i>Ground Truth Image</i>	94
4.3.	Proses <i>Preprocessing</i>	96
4.4.	Proses <i>Background Subtraction</i>	97
4.4.1.	Pengujian <i>Basic Model</i>	98
4.4.2.	Statistical Model.....	97
4.5.	Hasil Pengujian <i>Morphological Operation</i>	107
4.6.	Hasil Pengujian Deteksi dan Perhitungan Spermatozoa.....	112
4.7.	Ringkasan Hasil.....	114
BAB 5 PENENTUAN ABNORMALITAS PERGERAKAN		
SPERMATOZOA 116		
5.1.	Fitur-fitur Pola Pergerakan Spermatozoa Manusia.....	116
5.1.1.	Kecepatan Spermatozoa.....	118
5.1.2.	Identifikasi Spermatozoa.....	118
5.2.	Proses Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Dengan Regresi Linear.....	119
5.3.	Pengujian Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Dengan regresi Linear.....	120
5.3.1.	Akuisisi Data uji	120
5.3.2.	Akuisisi Data Spermatozoa Manusia	121
5.3.3.	Uji Coba Pada <i>Background Recontruction</i>	122
5.3.4.	Proses <i>Background Subtraction</i> Untuk Mendapatkan Citra Biner	124
5.3.5.	Proses <i>Morphological Filtering</i>	124
5.3.6.	<i>Labeling</i> Objek dan Menghitung koordinat Titik Pusat	126
5.3.7.	Hasil Penjejakan spermatozoa Uji	127
5.3.8.	Hasil Penjejakan Spermatozoa Manusia	128
5.3.9.	Analisa Perhitungan Regresi Linier	129
5.3.10.	Analisa Regresi Linear	133

5.4. Kesimpulan.....	134
BAB 6 KESIMPULAN & RENCANA PENELITIAN SELANJUTNYA....	136
6.1. Kesimpulan.....	136
6.2. Rencana Penelitian Selanjutnya.....	137
DAFTAR PUSTAKA.....	140
LAMPIRAN 1	144
LAMPIRAN 2A	146
LAMPIRAN 2B	149
LAMPIRAN 2C	154

DAFTAR GAMBAR

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

Gambar 2.14.	Alur diagram dari algoritma <i>Weighted Moving Mean</i>	42
Gambar 2.15.	Alur diagram dari algoritma <i>Weighted Moving Variance</i> ..	43
Gambar 2.16.	Alur proses dari statistical model background subtraction	45
Gambar 2.17.	Alur diagram dari algoritma <i>Single Gaussian</i>	47
Gambar 2.18.	Alur diagram dari algoritma <i>Gaussian Mixture Model</i>	48
Gambar 2.19.	Ilustrasi proses Dilasi (Indah Susilawati, 2009).....	51
Gambar 2.20.	Ilustrasi proses Erosi (Indah Susilawati, 2009).....	52
Gambar 2.21.	Ilustrasi proses Erosi <i>A</i> oleh <i>B</i> (Indah Susilawati, 2009).....	53
Gambar 2.22.	Ilustrasi himpunan piksel <i>A</i> dan <i>B</i> (Indah Susilawati, 2009).....	54
Gambar 2.23.	Hasil erosi dan hasil opening citra <i>A</i> oleh <i>B</i> (Indah Susilawati, 2009).....	54
Gambar 2.24.	Himpunan piksel <i>A</i> dan <i>B</i> (Indah Susilawati, 2009).....	55
Gambar 2.25.	Hasil proses Closing (Indah Susilawati, 2009).....	55
Gambar 2.26.	<i>SVM</i> Berusaha Menemukan <i>Hyperplane</i> Terbaik Yang Memisahkan Kedua <i>Class -1</i> Dan <i>+1</i>	60
Gambar 2.27.	Ilustrasi menentukan jarak titik terhadap persamaan garis.....	70
Gambar 3.1.	Spermatozoa manusia (WHO, 2010), (a) Normal, (b) Abnormal, (c) Epithelial Cell, (d) Bacilli.....	71
Gambar 3.2.	Identifikasi Abnormalitas Morfologi Spermatozoa	73
Gambar 3.3.	Hasil Ekstraksi Video Durasi 2 detik menjadi 58 <i>frame</i> ...	75
Gambar 3.4.	Konversi <i>RGB</i> ke <i>Grey scale</i> pada Citra Spermatozoa. (a) Citra <i>RGB</i> , (b) Citra <i>Grey Scale</i>	76
Gambar 3.5.	Hasil frame rata-rata (a) Video sperma durasi 2 detik, (b) Video sperma durasi 10 detik, (c) Video sperma durasi 15 detik.....	78

Gambar 3.6.	Hasil Proses <i>Background Subtraction</i> Dengan <i>Frame Difference</i>	79
Gambar 3.7.	Operasi Morfologi (a2) Hasil Operasi Morfologi untuk frame 12 pada durasi video 2 detik, (b2) Hasil Operasi Morfologi untuk <i>frame</i> 33 pada durasi video 10 detik (c2) Hasil Operasi Morfologi untuk <i>frame</i> 152 pada durasi video 15 detik.....	80
Gambar 3.8.	Hasil Proses Pemberian Label Tiap Sperma Pada salah satu <i>Frame</i>	81
Gambar 3.9.	Hasil Segmentasi <i>BLOB Analysis</i> (a) <i>Frame</i> 1 Pada VS-1, (b) <i>Frame</i> 2 Pada VS-2, (c) <i>Frame</i> 5 Pada VS-3.....	82
Gambar 3.10.	Contoh Hasil <i>Cropping</i> Pada Video Sperma (VS) Durasi 2 detik Untuk <i>Frame</i> Ke-10.....	83
Gambar 4.1.	Blok Diagram Proses Deteksi dan Menghitung spermatozoa.....	96
Gambar 4.2.	Cara Untuk Membuat <i>Ground Truth Image</i>	96
Gambar 4.3.	Ilustrasi Pembuatan <i>Ground Truth Image</i>	97
Gambar 4.4.	Kernel <i>Gaussian 5x5</i>	97
Gambar 4.5.	(a) <i>Frame</i> Asli dari Video Sperma (b) <i>Frame</i> Setelah proses <i>preprocessing</i>	98
Gambar 4.6.	(a) <i>Ground Truth</i> pada <i>frame</i> ke 30, (b) Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Frame Difference</i> pada <i>Frame</i> ke 30, (c) <i>Ground Truth</i> pada <i>frame</i> ke 570, (b) Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Frame Difference</i> pada <i>Frame</i> ke 570.....	100
Gambar 4.7.	(a) <i>Ground Truth</i> pada <i>frame</i> ke 30, (b) Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Weighted Moving Mean</i> pada <i>Frame</i> ke 30, (c) <i>Ground Truth</i> pada <i>frame</i> ke 570, (b) Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Weighted Moving Mean</i> pada <i>Frame</i> ke 570.....	101
Gambar 4.8.	(a) <i>Ground Truth</i> pada <i>frame</i> ke 30, (b) Hasil <i>foreground mask</i> algoritma <i>Weighted Moving Variance</i> pada <i>Frame</i> ke 30, (c) <i>Ground Truth</i> pada <i>frame</i> ke 570, (b) Hasil	103

	<i>foreground mask</i> algoritma <i>Weighted Moving Variance</i> pada <i>Frame</i> ke 570.....	
Gambar 4.9.	(a) Ground Truth pada frame ke 30, (b) Hasil foreground mask algoritma Single Gaussian pada Frame ke 30, (c) Ground Truth pada frame ke 570, (b) Hasil foreground mask algoritma Single Gaussian pada Frame ke 570.....	104
Gambar 4.10.	(a) Ground Truth pada frame ke 30, (b) Hasil foreground mask algoritma Gaussian Mixture Model pada Frame ke 30, (c) Ground Truth pada frame ke 570, (b) Hasil foreground mask algoritma Gaussian Mixture Model pada Frame ke 570.....	106
Gambar 4.11.	(a) Ground Truth pada frame ke 30, (b) Hasil foreground mask algoritma Kernel Density Estimation pada Frame ke 30, (c) Ground Truth pada frame ke 570, (b) Hasil foreground mask algoritma Kernel Density Estimation pada Frame ke 570.....	107
Gambar 4.12.	Bentuk struktur element yang digunakan.....	108
Gambar 4.13.	Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> untuk <i>Basic Background Subtraction Method</i>	110
Gambar 4.14	Hasil <i>foreground mask</i> setelah <i>morphological operation</i> pada 8 algoritma <i>statistical Background Subtraction Method</i>	110
Gambar 4.15.	Grafik <i>f-measure</i> dari algoritma <i>Basic Model</i>	114
Gambar 4.16.	Grafik <i>f-measure</i> dari algoritma <i>Statistic Model</i>	115
Gambar 5.1.	Kecepatan dan Gerak Spermatozoa.....	118
Gambar 5.2.	Blok Diagram Proses Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Berbasis Regresi Linear.....	120
Gambar 5.3.	Frame cuplikan video motilitas spermatozoa koleksi UNSW <i>Embryology</i>	122
Gambar 5.4.	a. <i>Frame</i> cuplikan video motilitas spermatozoa 10 menit setelah proses ejakulasi, lensa objektif 10x (b) lensa objektif 40x (c) lensa objektif 100x dan (d) <i>Frame</i>	123

	cuplikan video motilitas spermatozoa 30 menit setelah proses pengeluaran, lensa objektif 40x.....	
Gambar 5.5.	Motilitas spermatozoa (a) adalah gambar asli hasil ekstraksi video, dimana (a1) adalah gambar frame ke 15, (a2) adalah frame ke 45 dan (a3) adalah frame ke 105. (b),(c) adalah gambar <i>background</i> hasil rekonstruksi.....	124
Gambar 5.6.	Diagram Alir Proses <i>Morphological Filterng</i>	126
Gambar 5.7.	(a) Hasil Proses <i>Morphological Filterng</i> (b) Hasil Proses <i>Gap Filling</i>	127
Gambar 5.8.	Diagram Alir untuk <i>labeling</i> objek dan koordinat Titik Pusat	128
Gambar 5.9.	(a) Gambar frame ke-120 video data uji, (b) Gambar biner dari frame ke-120 video data uji setelah proses, (c) Penjejakan spermatozoa video data uji frame ke-120.....	129
Gambar 5.10.	(a) Gambar frame ke-120 video sperma manusia, (b) Gambar biner dari frame ke-120 video sperma manusia, (c) Penjejakan spermatozoa video sperma manusia frame ke-120.....	130
Gambar 5.11.	Cuplikan 6 frame berurutan dengan kondisi satu sperma berbeda-beda, (a) posisi awal sperma, (b) posisi pada frame kedua, (c) posisi pada frame ketiga, (d) posisi pada frame keempat, (e) posisi pada frame kelima, (f) posisi pada frame keenam.....	131
Gambar 5.12.	Plot Pergerakan Sperma Data Uji.....	132
Gambar 5.13.	Plot Pergerakan Data Sperma Manusia Uji.....	133

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

I	:	Intensitas
W_R	:	<i>weight factor</i>
H	:	<i>hue</i>
S	:	<i>saturation</i>
V	:	<i>value</i>
dst	:	Gambar akumulator
scr	:	Gambar Input
F	:	<i>Foreground</i>
B	:	<i>Background</i>
f	:	<i>Frame</i>
SE	:	<i>Structuring Element</i>
ECD	:	<i>Equivalent Circular Diameter</i>
b	:	bias
$WED(\vec{f}_i, prototype)$	:	bobot <i>euclidian distance</i> antara vektor fitur \vec{f}_i
$f(x)$	:	Fungsi Vektor Masukan
$d(x', x)$	:	jarak di antara data uji z ke setiap vector data latih
$K(x, y)$	:	fungsi kernel linear
$G(x)$	:	fungsi Gaussian satu dimensi
\square	:	standard deviasi dari distribusi
$G(x, y)$	:	fungsi Gaussian dua dimensi
$\mu(x, y, t)$	:	Model Single gaussian membutuhkan beberapa frames untuk menghitung nilai rata – rata (μ) dan standart deviasi (σ) di masing – masing komponen warna
$P(x, y, i)$	:	nilai intensitas dari piksel pada posisi (x, y) pada waktu i .
\square	:	jumlah distribusi

$\omega_{i,t}$	:	estimasi <i>weight</i> kei <i>mixture</i> Gaussian pada waktu t
η	:	<i>Probability Density Function</i> Gaussian,
\square	:	Nilai Threshold
μ	:	nilai rata-rata
VCL	:	kecepatan spermatozoa sepanjang lintasan selama satu sekuen video
VSL	:	kecepatan spermatozoa dengan menarik garis lurus antara awal dan akhir
\square	:	waktu yang dihabiskan selama satu sekuen
$\bar{F}(a,b)$	:	nilai rata-rata tiap-tiap piksel
n	:	jumlah data
$g(a,b)$	:	nilai piksel citra hasil <i>thresholding</i> , yang berisi 0 atau 1
r	:	jarak posisi <i>spermatozoa</i> terhadap garis regresi linier

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infertilitas adalah ketidakmampuan untuk hamil sesudah 12 bulan atau enam bulan pada wanita berusia lebih dari 35 tahun tanpa menggunakan kontrasepsi dan melakukan hubungan seksual aktif. Sebagian besar kasus infertilitas wanita di sebabkan oleh masalah dengan ovulasi. Tanpa ovulasi, tidak ada telur yang bisa dibuahi. Beberapa tanda-tanda bahwa wanita tidak berovulasi biasanya mencakup tidak teratur atau tidak adanya menstruasi (Najakhatus, 2016). Dalam penelitiannya, diambil data pada pasien pasangan infertil di klinik fertilitas dan bayi tabung Tiara Cita Rumah Sakit Putri Surabaya, periode Nopember–Desember 2015. Jumlah sampel yang didapat sebanyak 83 pasangan. Pengumpulan data menggunakan data primer yaitu data yang diperoleh melalui kuesioner sedangkan data sekunder yaitu data umum klinik. Analisis data yang digunakan adalah univariat untuk melihat distribusi frekuensi. Responden sebagian mengalami infertilitas primer (77,1 persen), Responden melakukan perilaku berisiko sebesar (39,8%) untuk kebiasaan merokok, mengonsumsi alkohol (27,7 persen), dan obesitas (40,9 persen) (Najakhatus, 2016).

Berdasarkan catatan WHO, diketahui penyebab *infertilitas* pada perempuan di antaranya faktor *tuba fallopi* 36%, gangguan *ovulasi* 33%, *endometriosis* 6%, dan hal lain yang tidak di ketahui sekitar 40%. Ini berarti sebagian besar masalah *infertilitas* pada perempuan di sebabkan oleh gangguan pada alat reproduksi atau gangguan pada proses *ovulasi* (Kumalasari, 2012).

Di Indonesia kejadian perempuan *infertil* 15% pada usia 30-34 tahun, meningkat 30% pada usia 35-39 tahun, dan 55% pada usia 40-44 tahun. Hasil survei gagalnya kehamilan pada pasangan yang sudah menikah selama 12 bulan, 40% disebabkan infertilitas pada pria, 40% karena infertilitas pada wanita, dan 10% dari pria dan wanita, 10% tidak diketahui penyebabnya. Pasangan usia subur (PUS) yang menderita infertilitas sebanyak 524 (5,1%) PUS dari 10205 PUS (Samsyah, 2010).

Menurut penelitian Perhimpunan Rumah Sakit Seluruh Indonesia (PERSI) di Jakarta, 36% *infertilitas* terjadi pada pria dan 64% terjadi pada wanita. Penelitian lain menunjukkan di angka kejadian *infertilitas* wanita terjadi sekitar 15% pada usia

produktif (30-34 tahun), meningkat sampai dengan 30% pada usia 35-39 tahun dan 64% pada usia 40-44 tahun (PERSI, 2001).

Menurut penelitian yang di lakukan oleh Dewi di Rumah Sakit Ibu Dan Anak Widiyanti Palembang tahun 2012 di dapatkan hasil bahwa ibu yang berkunjung dan memeriksakan diri di ruang *infertil* yang (terdiagnosa *infertilitas*) sebanyak 175 orang (44,9%) dan yang tidak (tidak terdiagnosa *infertilitas*) sebanyak 215 orang (55,1%) Ibu yang usianya beresiko tinggi sebanyak 170 orang (43,6%) dan beresiko rendah sebanyak 220 orang (56,4%). Ibu yang mempunyai siklus haidnya tidak normal sebanyak 186 orang (47,7%) dan yang siklus haidnya normal sebanyak 204 orang (52,3%).

Menurut data Biro Pusat Statistik (BPS) di Indonesia, diperkirakan terdapat 12% pasutri yang tidak mampu membuahkan keturunan. Di Indonesia, informasi mengenai kejadian infertilitas di tingkat masyarakat masih sangat kurang, hanya berdasarkan data rumah sakit yang datang dengan berbagai keluhan *infertilitas*. Berdasarkan hasil survei di Bali ditemukan angka *infertilitas*-nya sebesar 4,1%. Bila angka ini *infertilitas* ini dikonversikan pada pasangan usia subur di Bali, diperkirakan terdapat 18.000 - 25.000 pasutri *infertil*. Sebanyak 56% pasangan *infertil* akibat faktor suami dan istri, 25% akibat faktor istri, dan 18% akibat faktor suami saja. Di pihak istri, kelainan paling banyak adalah kelainan pada saluran telur (tuba) yaitu sebesar 72%, sedangkan dari pihak suami 24% menderita kelainan sperma (air mani) berupa ekstrim oligoasthenozoosperma dan azoosperma (Bali Post, 2005)

Sekitar 10% dari pasangan suami-istri mengalami *infertilitas* 1,2,3,4. Faktor penyebab *infertilitas* berasal dari suami, istri, atau keduanya. Faktor lain dari kedua belah pihak sebesar 30-40%. Menurut penelitian yang dilakukan Lim dan Ratnam, faktor penyebab yang berasal dari suami sebesar 33%, sedangkan hasil penelitian WHO pada 1989 sebesar 40%. Penelitian yang dilakukan Arsyad terhadap 246 pasangan *infertil* di Palembang menunjukkan infertilitas yang disebabkan faktor pria sebesar 48,4%². (Tempo, 2010)

Sebenarnya ada dua faktor utama yang menyebabkan *infertilitas* pada pria, yakni spermatozoa dan non-spermatzoa. Faktor spermatozoa di antaranya dapat disebabkan oleh *varikokel*, *idiopatik* (tidak diketahui), faktor genetik, sumbatan saluran spermatozoa (*obstruksi*), kelainan bawaan lahir, infeksi menular seksual,

serta gangguan hormon. Adapun yang termasuk faktor non-spermatozoa, meliputi kelainan seksual (gairah rendah, disfungsi ereksi, gangguan ejakulasi atau kelainan bentuk anatomi penis, sehingga tidak bisa sanggama) atau pasutri yang jarang berhubungan badan. Kelainan spermatozoa dapat berupa kelainan jumlah (*oligo*), gerakan (*astheno*), maupun bentuknya (*terato*). Bila tidak ditemukan spermatozoa sama sekali maka hal ini disebut sebagai *azoospermia*. Kasus *azoospermia* ditemukan dalam 10% kasus *infertilitas* pria. Sementara *prevalensi varikokel* di dunia ditemukan sebanyak 1,08 - 45% terjadi pada pria sehat dan 11-22% pada pria dengan kondisi *infertilitas* (Nur Rasyid, pdpersi, 2013).

Salah satu tes laboratorium yang dapat menentukan kualitas sel-sel sperma yang terdapat pada cairan semen adalah dengan sebuah pemeriksaan yang dinamakan Analisis Sperma. Pemeriksaan ini diperlukan pada beberapa kasus seperti pada pasca operasi yang melibatkan organ reproduksi pria, pengangkatan salah satu testis pada kasus kanker testis. Akan tetapi, pihak yang paling memerlukan pemeriksaan adalah pasangan mengalami *infertilitas*.

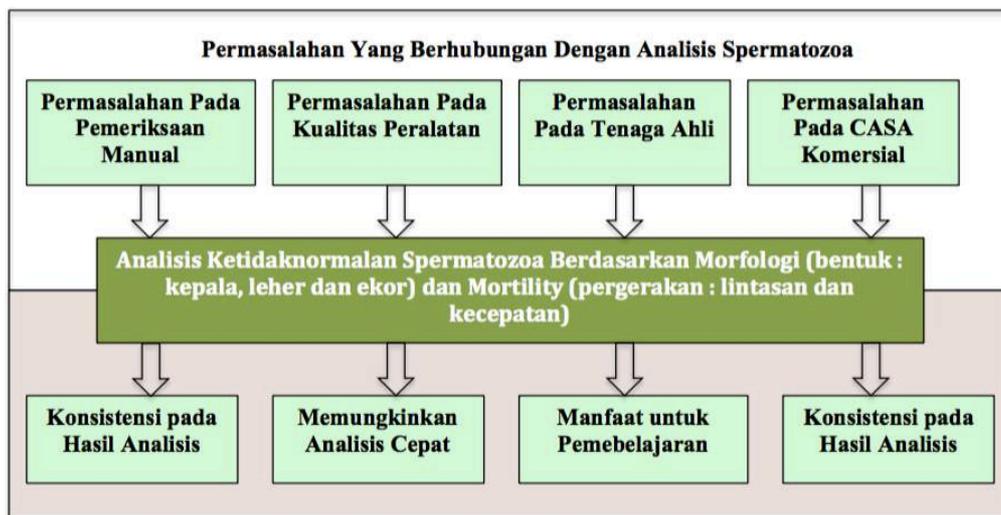
Pentingnya analisis sperma adalah untuk mengukur tingkat *infertilitas*, yang paling sering digunakan adalah *Spermiogramy* ang menurut *World Health Organization WHO*, 2010 terdiri dari dua tahapan:

- a. Pengujian makroskopik: Pada tahapan ini dilakukan analisis terhadap beberapa karakteristik fisik dari semen yaitu bau, kekentalan, dan *pH*.
- b. Pengujian mikroskopik: pada tahapan ini dianalisis beberapa parameter spermatozoa yaitu: konsentrasi (kepadatan), *motility* (mobilitas), dan morfologi (struktur dan bentuk).

Pada kedua tahapan pemeriksaan tersebut, parameter-parameter yang diukur sebagai berikut:

- a. Berdasarkan *pH*, cairan semen harus bersifat agak basa yang bernilai antara 7,0 sampai 8,5.
- b. Berdasarkan viskositas, cairan semen harus mudah dituang.
- c. Berdasarkan volume, cairan semen yang harus diambil adalah dua hingga lima sentimeter kubik
- d. Hitungan sperma (*sperm count*), dimana angka yang normal adalah sekitar 200 juta per sentimeter kubik.

- e. Berdasarkan morfologi yang bisa memberikan informasi tentang bentuk sperma. Bisa mikro (dalam hal ini berarti terlalu kecil), bisa makro (dalam hal ini berarti terlalu besar). Ukuran umum yang diharapkan adalah sedang.
 - f. Kelincahan gerak (motilitas) yang dalam pengujiannya menyatakan tingkat aktivitas sperma. Jika sperma tidak bergerak, mereka tidak dapat sampai ke telur.
- Umumnya berbagai parameter di atas ditentukan secara subjektif oleh seorang ahli dibawah mikroskop.



Gambar 1.1 Gambaran Permasalahan Dengan Analisis Spermatozoa Manusia

Permasalahan yang terkait dengan analisis spermatozoa ditunjukkan pada Gambar 1.1. Prosedur analisis spermatozoa yang umum dilakukan saat ini mempunyai beberapa kendala diantaranya: mikroskop yang digunakan untuk pengamatan umumnya punya kualitas rendah, mode pembesaran terbatas dan iluminasi menggunakan cahaya alam. Akibatnya, proses diagnosis menjadi kurang akurat. Faktor kemampuan tenaga ahli juga bervariasi tergantung tingkat pemahamannya, sehingga kemungkinan terdapat perbedaan hasil pembacaan. Di Indonesia, keberadaan tenaga ahli pembaca spermatozoa inipun jumlahnya sangat terbatas.

Terakhir, isu yang paling penting adalah isu kecepatan memperoleh hasil analisis sperma. Jika dilakukan secara manual, hasil analisis akan lama diperoleh. Untuk mengatasi isu terkait tenaga ahli, penggunaan komputer sudah dilakukan pada

sebuah sistem yang dikenal dengan *Computer-Aided Sperm Analysis (CASA)*. Dengan sistem ini, pengambilan citra dan video mikroskopis dilakukan terhadap cairan semen. Citra mikroskopis dilakukan untuk analisis konsentrasi atau perhitungan jumlah spermatozoa (*sperm count*) dan analisis morfologi atau bentuk kepala atau ekor spermatozoa. Sedangkan video mikroskopis dilakukan untuk mengetahui mobilitas spermatozoa sesuai. Di pasaran tersedia produk komersial buatan luar negeri, akan tetapi produk *CASA* komersial masih terlalu mahal untuk diadakan pada pusat-pusat diagnosis di Indonesia. Pusat-pusat ini masih mengandalkan pengamatan manual dalam melakukan analisis sperma. Selain itu, produk ini juga belum sempurna. Ketepatan analisis sangat bergantung pada kualitas penyediaan semen, jika tidak maka ketepatan perhitungan spermatozoa dan penentuan tingkat motiliti akan turun. Selain itu, produk komersial ini masih belum bisa melakukan klasifikasi otomatis spermatozoa berdasarkan hasil perhitungan dan penentuan motiliti apakah tergolong normal, kurang atau tidak normal.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan analisa sperma. Data penelitian, teknik yang digunakan serta bentuk penilaian yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1.1.

1.2. Rumusan Masalah

Beberapa penelitian tentang motilitas spermatozoa sudah dilakukan oleh peneliti dari berbagai negara seperti diuraikan pada bagian pendahuluan. Penentuan spermatozoa manusia normal dan abnormal didasarkan pada pemeriksaan makroskopis dan mikroskopis (WHO, 2010). Pemeriksaan mikroskopis meliputi analisis morfologi (berdasarkan pada ukuran, yaitu panjang kepala, lebar kepala, *mid-piece* dan panjang ekor). Namun, ukuran spermatozoa bukan syarat mutlak untuk menentukan spermatozoa normal dan abnormal. Demikian juga pada analisis motiliti spermatozoa (penjejakan motilitas seperti pergerakan, kecepatan dan listasan spermatozoa), penjejakan motilitas spermatozoa menghasilkan informasi posisi, selama ini menggunakan algoritma yang membutuhkan kinerja tinggi komputer. Jika spermatozoa telah memenuhi syarat morfologi normal tetapi motilitasnya abnormal, maka spermatozoa tersebut disebut abnormal. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu menganalisis dan mengklasifikasi spermatozoa manusia normal dan abnormal berdasarkan morfologi dan motilitasnya.

Tabel 1.1 Matriks Posisi Penelitian pada Penelitian Terkait

No.	Peneliti/Tahun	Teknik Yang Digunakan	Penelitian Yang dilakukan
1.	Monali Y. Khachane, R. R. Manza, R. J. Ramteke (2015)	<i>Fuzzy Rule Based</i>	Klasifikasi Spermatozoa Berdasarkan Kepala, Leher dan Ekor
2.	Priyanto Hidayatullah dan Miftahudin Zuhdi (2014)	<i>Adaptive Local Threshold & Ellipse Detection</i>	Mendeteksi dan Menghitung Jumlah Sperma
3.	Mohamed Elsayed, Taymour El-Sherry dan Mohamed Abdekgawad (2014)	<i>Microfluidic, Image-J</i>	Membuat Simulasi (<i>CASA</i>) analisa spermatozoa dengan aliran cairan pada semen
4.	Qiaoliang Li, Huisheng Zhang, Li Yin, et.al (2012)	<i>Gaussian-modeling Method, Morphological Method</i>	Deteksi Otomatis pada video streams Spermatozoa Manusia berbasis <i>OpenCV</i>
5.	A. Nurhadiyahna, A.L. Latifah, D. Fryantoni, et. Al (2014)	<i>Motion Detection Methods, Gaussian Mixture Model dengan Hole Filling Algorithm</i>	Deteksi dan <i>tracking</i> spermatozoa manusia
6.	Jiaqian Li, Kuo-Kun Tseng, Haiting Dong, Yifan Li, Ming Zhao dan Mingyue Ding (2014)	PCA (<i>Principal Component Analysis</i>) dan <i>K-Nearest Neighbor (K-NN)</i>	Melakukan Identifikasi apakah sel sperma sehat atau tidak.
7	Mohammad R. Ravanfar and Mohammad H. Moradi (2011)	<i>Particle Filter</i> dan <i>Watershed Segmentation</i>	Mendeteksi pergerakan sperma
8	Jun Liu, Clement Leung, Zhe Lu, and Yu Sun	<i>Motion template</i> untuk mendeteksi dan melacak pergerakan sperma terintegrasi dengan <i>Kalman filter</i> untuk memaksimalkan <i>intensitas region algorithm</i>	Pelacakan kepala dan ekor sperma

1. Spermatozoa manusia saat ini masih dilakukan dengan pengamatan secara manual menggunakan mikroskop akan mengakibatkan hasil pembacaan atau penilaian menjadi tidak akurat karena faktor seperti tingkat pemahaman tenaga ahli, pencahayaan, pandangan mata yang kurang. Untuk itu diperlakukan suatu metode identifikasi otomatis berbasis komputer untuk mendapat hasil yang akurat pada kepala spermatozoa manusia baik dalam bentuk gambar maupun video (spermatozoa bergerak)

2. 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 $\pm 50 \text{ fps}$. Sampai saat ini, belum ada penelitian tentang sperma yang menggunakan data video rekaman cairan semen dengan *sampling rate* sebesar yang dibutuhkan ($\pm 50 \text{ fps}$).
3. Dengan mengevaluasi pergerakan *spermatozoa* melalui mikroskop, maka deteksi motilitas sperma, yang merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas *spermatozoa* dapat diketahui, sehingga dibutuhkan suatu metode untuk bisa memungkinkan analisa gerakan *spermatozoa* berdasarkan bentuk lintasan *spermatozoa* normal dan abnormal dengan mikroskop berkontras rendah, dengan efisiensi komputasi yang tinggi

1.3. Tujuan Penelitian

Terkait dengan permasalahan dalam analisis sperma, penelitian pendahuluan sudah dilakukan terhadap sperma manusia, diantaranya klasifikasi *teratozoospermia* berdasarkan bentuk kepala menggunakan segmentasi *threshold* dan *decision tree*, serta analisis *oligozoospermia* berdasarkan jumlah dan konsentrasi *spermatozoa* pada semen dengan menggunakan metode otsu *threshold* dan pelabelan. Penelitian pendahuluan ini sebagian untuk mendukung penelitian untuk mengembangkan analisis dan klasifikasi sperma normal dan abnormal, baik dari morfologi dan motiliti-nya sehingga mempunyai kemampuan untuk melakukan analisa semen dalam hal jumlah dan kualitas sperma, sehingga beberapa penelitian lanjutan sudah terbit antara lain *Modified Background Subtraction Statistic Models for Improvement*

Detection and Counting of Active Spermatozoa Motility dan A New Method to Improve Movement Tracking of Human Sperms

Gambar 1.2. menunjukkan perangkat yang digunakan untuk mengambil citra dan video dari spermatozoa. Pemeriksaan sperma yang menjadi tujuan utama dari penelitian ini adalah pemeriksaan mikroskopik untuk menghitung jumlah spermatozoa dan menentukan kualitas spermatozoa. Pemeriksaan dilakukan melalui citra video spesimen semen. Dalam hal jumlah sperma perlu dibedakan antara sperma dan yang bukan sperma (*cellular debris*). Kualitas spermatozoa diukur dari aspek keaktifan (motilitas) sperma dan aspek morphology sperma. Dalam hal tingkat keaktifan spermatozoa dikelompokkan menjadi *progressive*, *non progressive* dan *immotility*. Dari aspek morfologi sperma dikelompokkan dalam tingkatan normal hingga tak normal.

Penelitian yang sudah dilakukan bertujuan untuk:

1. Menyempurnakan analisis motiliti sperma yang dihasilkan pada penelitian pendahuluan. Pengembangan sistem ini dilakukan dua tahap. Tahap pertama menekankan pada kegiatan pengambilan citra dan video pergerakan spermatozoa menggunakan perangkat pendukung serta menentukan ketidaknormalan spermatozoa berdasarkan bentuk (morfologi) berdasar data citra (gambar nyata spermatozoa), tahap kedua penentuan ketidaknormalan motiliti berdasar data video.
2. Menerapkan algoritma *Mixture of 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.
3. Menentukan abnormalitas pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based*. Dimana dalam aplikasi tersebut mengintegrasikan proses perekaman, penjejakan, pembuatan lintasan, dan penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa.



Gambar 1.2 Perangkat yang digunakan untuk mengambil citra dan video spermatozoa, di laboratorium mikrobiologi Poltekes Surabaya – 20 spermatozoa

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan mempunyai manfaat untuk masyarakat, baik masyarakat akademik maupun non akademik. Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini, hasil penelitian deteksi dan pelacakan sperma ini dapat digunakan antara lain untuk: menghitung jumlah sperma, mengetahui morfologi sperma, lintasan dan kecepatan pergerakan sperma, dan dapat menganalisa tingkat infertilitas sperma dengan tepat.

1.5. Kontribusi Penelitian

Permasalahan utama dalam citra dan video semen yang diperoleh dari *bright field microscope* adalah kontras yang sangat rendah di mana histogramnya cenderung *Uni-modal* dan hanya memiliki rentang yang sangat sempit dari keseluruhan *range* intensitas. Hal ini membuat *image* memiliki nilai *Signal to Noise Ratio (S/N)* yang sangat rendah. Karena bentuk histogramnya cenderung *monomodal* dan sempit, maka sangat sensitif terhadap objek asing dengan intensitas yang berbeda dengan rata-rata intensitas pada *image*. Pada penelitian ini juga digunakan data video yang berasal dari *bright field microscope* dengan distribusi *brightness* yang kurang homogen, noktah hitam di tengah lensa, dan juga sejumlah besar *death pixels* di pinggiran *image*. *Raw data* seperti ini belum pernah dijumpai pada penelitian sebelumnya, sehingga dalam penelitian ini dikembangkan metode sebagai berikut :

1. Mencari variabel-variabel analisis matematis spermatozoa melalui penjejakan spermatozoa yang digunakan untuk pengidentifikasian sperma menjadi 4 *class* menurut motilitasnya

2. Menentukan klasifikasi spermatozoa berdasarkan bentuk kepala spermatozoa (morphologi) dari pergerakan spermatozoa (video)
3. Menentukan jumlah spermatozoa berdasarkan pergerakan yang difokuskan pada proses *background subtraction*, dan membandingkan dengan *ground truth*
4. Analisis video sperma untuk menentukan abnormalitas pergerakan spermatozoa berdasarkan lintasan dengan menggunakan regresi linear
5. Menentukan rumusan lintasan sperma aktif

1.6. Gambaran Umum dan Posisi Penelitian

Dari referensi yang ada (Table 1.1.) 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 dilakukan, 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.

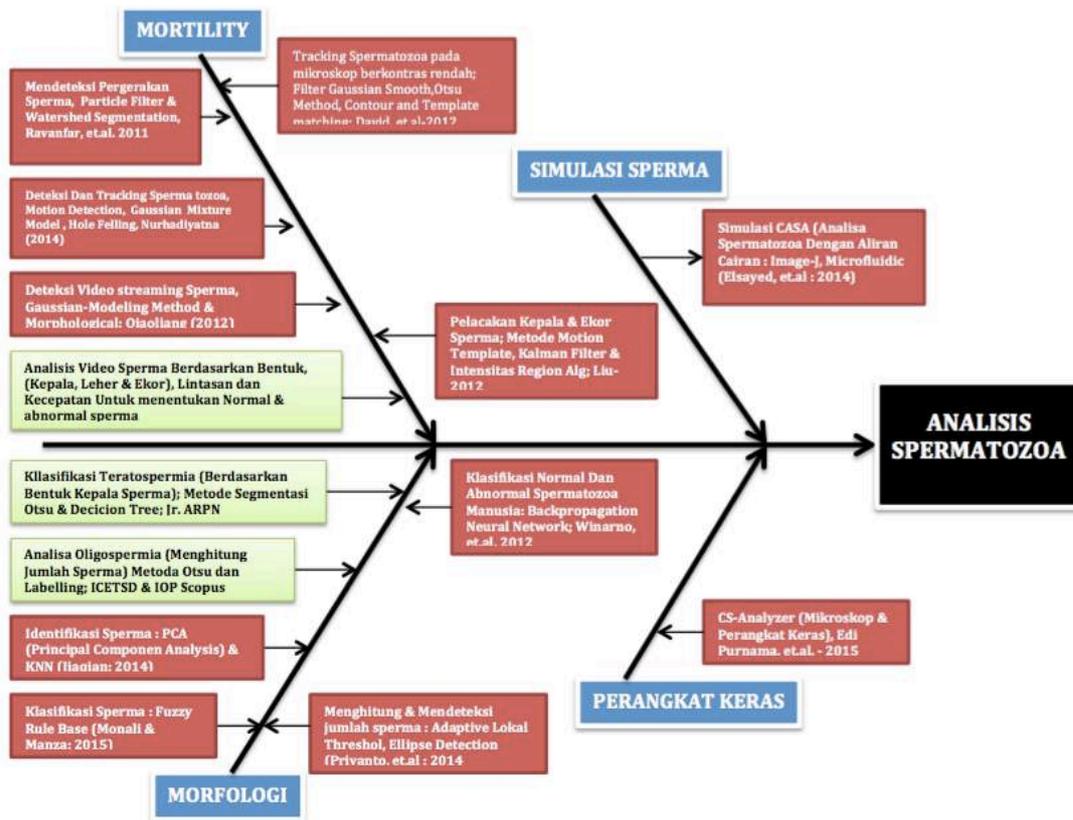
Dalam penelitian ini, dilakukan deteksi dan penghitungan sperma manusia. Data yang digunakan didapat dari 20 relawan yang memang bersedia untuk menyumbangkan spermanya. Sperma diamati menggunakan mikroskop berjenis *bright field* dengan pembesaran sebesar 40x kemudian direkam menggunakan kamera *Point 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, pada penelitian ini menggunakan beberapa metode dalam meng-identifikasi spermatozoa normal maupun yang abnormal antara lain: metode *background subtraction* dengan algoritma *mixture of gaussian*, Penelitian ini juga mencoba algoritma *background*

subtraction lain sebagai pembanding, 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*.
4. 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

Jadi, penelitian ini adalah meng-klasifikasi normal dan abnormal spermatozoa pada manusia berdasarkan morfologi dan motility. Secara garis besar, penelitian yang dilakukan meliputi: analisa morfologi sperma dari bentuk (kepala, leher dan ekor), analisa motility sperma dari sisi pergerakan (berdasarkan video sperma), perancangan bentuk lintasan dan kecepatan sperma, penentuan parameter yang signifikan dilibatkan dalam menentukan bentuk lintasan dan kecepatan sperma untuk tujuan klasifikasi normal dan abnormal spermatozoa pada manusia. Gambaran terkait penelitian yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.3.

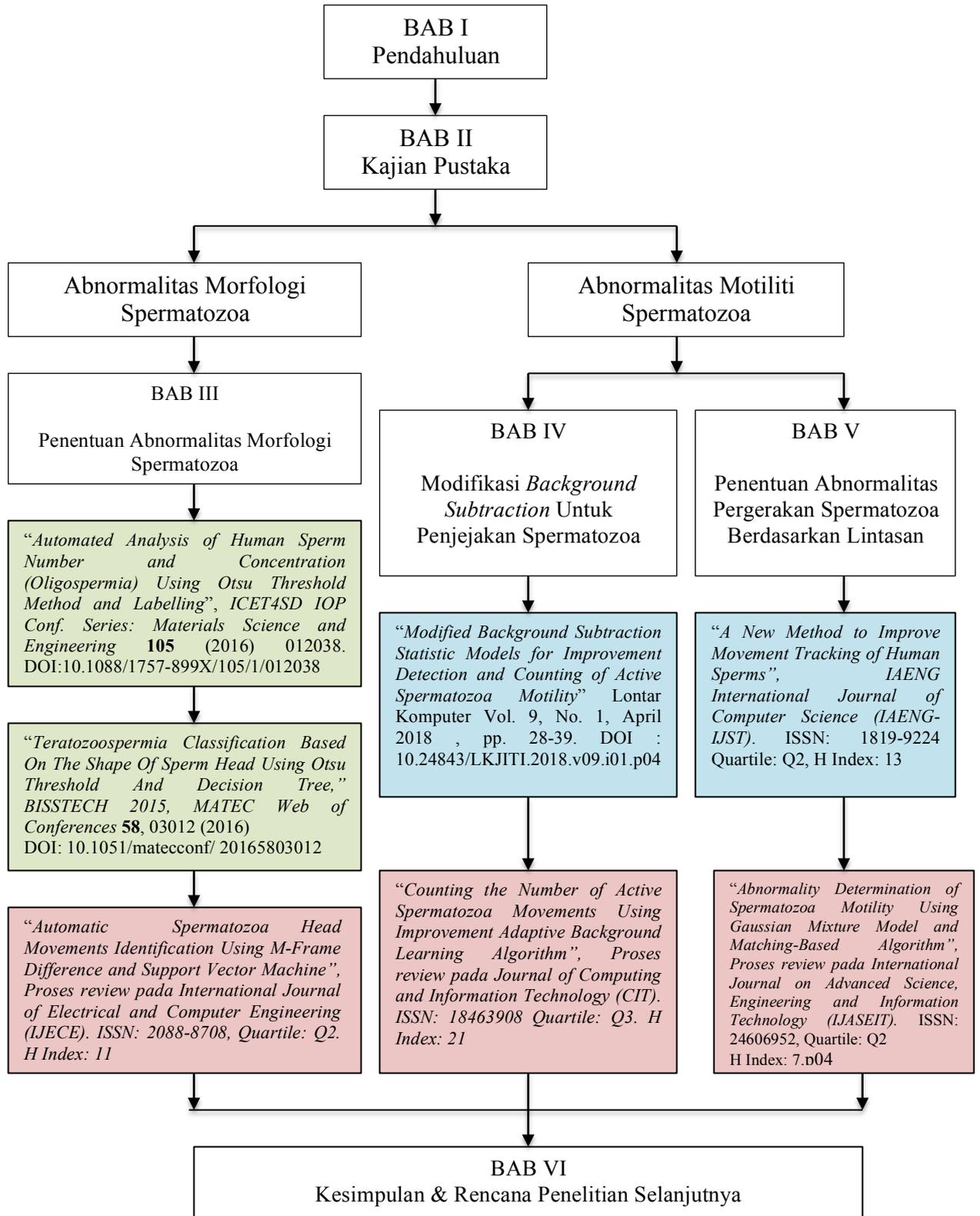


Gambar 1.3. Diagram Tulang Ikan Penelitian

1.7. Sistematika Penulisan Disertasi

Sistematika penulisan dari buku disertasi ini sesuai dengan gambar 1.4.

- Bab 1. Memuat hierarki pendahuluan yang terdiri dari latar belakang penelitian dilakukan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kontribusi penelitian yang dihasilkan dari kegiatan penelitian dan posisi penelitian.
- Bab 2. Membahas tentang *state of art* yang berisi penelitian terdahulu dan teori penunjang secara umum, antara lain: Ekstraksi Video dan Citra Spermatozoa. Dimulai dengan pembahasan Teori Umum, Pemrosesan Awal (*Preprocessing*) yang terdiri dari: *Grayscale, Black and White, Threshold Otsu, Morfology Filtering, Dilasi, Erosi, Analisis BLOB* dan Identifikasi dengan metode *SVM* dan *K-NN*. Kemudian diuraikan juga mengenai Fitur-fitur sebagai Dasar Ekstraksi spermatozoa, dan Ekstraksi spermatozoa dengan background *subtaction Algorithm*.



Keterangan : warna hijau dan biru, sudah diterima dan terbit, warna merah sudah submit dalam proses review

Gambar 1.4. Alur Penentuan Abnormalitas Bentuk dan Pergerakan Spermatozoa

- Bab 3. Membahas tentang Penentuan abnormalitas Morfologi Spermatozoa Manusia. Yang dibahas dalam bab ini meliputi: Fitur-fitur Morphologi Spermatozoa, Ekstraksi video spermatozoa, *Preprocessing* dan Segmentasi, Perbaikan Latar Belakang Spermatozoa dengan Perbaikan *Background Subtraction*, Klasifikasi Morphologi Spermatozoa Dengan *Support Vector Machine*, dan Pengujian Klasifikasi Morphologi Spermatozoa Dengan *K-NN*. Pada bab ini di dukung beberapa paper yang sudah terbit maupun masih dalam proses review, antara lain: “*Automated Analysis of Human Sperm Number and Concentration (Oligospermia) Using Otsu Threshold Method and Labelling*”, *ICET4SD IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* **105** (2016) 012038. DOI:10.1088/1757-899X/105/1/012038, “*Teratozoospermia Classification Based On The Shape Of Sperm Head Using Otsu Threshold And Decision Tree*,” *BISSTECH 2015, MATEC Web of Conferences* **58**, 03012 (2016) DOI: 10.1051/mateconf/ 20165803012, “*Automatic Spermatozoa Head Movements Identification Using M-Frame Difference and Support Vector Machine*”, *Proses review pada International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. ISSN: 2088-8708, Quartile: Q2. H Index: 11 (Proses review).
- Bab 4. Membahas tentang Modifikasi *Background Subtraction* untuk penjejakan spermatozoa, yang terdiri Fitur-fitur Ekstraksi Deteksi Spermatozoa, Segmentasi Video Spermatozoa Dengan *Gaussian Filter*, Fitur-Fitur *Background Subtraction* Video Spermatozoa, 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*. Pada sub bab ini dijelaskan tentang teori dari *background subtraction* yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: *Basic Method, Statistical Method*. Dan pengujian deteksi spermatozoa, yang terdiri dari hasil pengujian *ground truth image*, hasil pengujian proses *preprocessing*, hasil pengujian proses *background subtraction*, hasil pengujian *morphological operation*, hasil pengujian deteksi dan perhitungan spermatozoa dan ringkasan hasil. Pada bab ini di dukung beberapa paper yang sudah terbit maupun masih dalam proses review, antara lain: “*Modified Background Subtraction Statistic Models for Improvement Detection*

and Counting of Active Spermatozoa Motility” Lontar Komputer Vol. 9, No. 1, April 2018 , pp. 28-39. DOI : 10.24843/LKJITI.2018.v09.i01.p04 dan “*Counting the Number of Active Spermatozoa Movements Using Improvement Adaptive Background Learning Algorithm*”, Proses review pada *Journal of Computing and Information Technology (CIT)*. ISSN: 18463908 Quartile: Q3. H Index: 21

- Bab 5. Membahas tentang Penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa berdasarkan lintasan, membahas tentang fitur-fitur pola pergerakan spermatozoa manusia, yang meliputi kecepatan dan identifikasi spermatozoa. Proses identifikasi pergerakan spermatozoa dengan regresi linear, yang terdiri dari penentuan fitur identifikasi pergerakan spermatozoa dengan regresi linear dan pengujian identifikasi pergerakan spermatozoa dengan regresi linear. dan ringkasan hasil. Pada bab ini di dukung beberapa paper yang sudah terbit maupun masih dalam proses review, antara lain: “*A New Method to Improve Movement Tracking of Human Sperms*”, *IAENG International Journal of Computer Science (IAENG-IJST)*. ISSN: 1819-9224 Quartile: Q2, H Index: 13 dan “*Abnormality Determination of Spermatozoa Motility Using Gaussian Mixture Model and Matching-Based Algorithm*”, Proses review pada *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJESEIT)*. ISSN: 24606952, Quartile: Q2. H Index: 7.p04
- Bab 5. Berisikan kesimpulan dari kegiatan hasil penelitian yang telah dicapai dan rencana penelitian selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

STATE OF ART DAN KAJIAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

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

1. Klasifikasi Spermatozoa pada manusia dengan aturan *Fuzzy* (Monali Y. Khachane, et. Al, 2015). Melakukan klasifikasi spermatozoa pada manusia yang didasarkan pada bentuk kepala, leher dan ekor sperma, dengan melakukan segmentasi sperma menggunakan teknik pengolahan citra dan klasifikasi kepala sperma. Penelitian yang dilakukan yaitu pada gambar digital sperma. Spermatozoa yang disegmentasi terdiri dari tiga bagian yaitu Kepala Sperma, Leher, dan ekor. Gambar sperma ini diproses, hasilnya adalah fitur sperma yang tersegmentasi, kemudian Metode yang diusulkan untuk mengklasifikasi adalah *Fuzzy* yang dikategorikan kelas normal dan abnormal menggunakan bentuk dan daerah kepala sperma.
2. (Priyanto Hidayatullah dan Miftahudin Zuhdi, 2014) melakukan penelitian mendeteksi dan menghitung jumlah spermatozoa pada area tertentu (dalam sebuah video yang diambil dari mikroskop multimedia) dengan menggunakan *adaptive local threshold* dan *Ellips Detection* untuk mendeteksi kepala sperma. langkah-langkah yang dilakukan untuk mendeteksi dan menghitung jumlah spermatozoa adalah mengkonversi gambar input menjadi gambar *grayscale*, *noise filtering*, mengkonversi gambar *grayscale* menjadi citra biner menggunakan *adaptive local threshold*, melakukan *Closing and Open* pada operasi morfologi, mendeteksi tepi objek, mendeteksi sperma menggunakan deteksi elips. Hasil dari penelitian ini, dengan metode yang gunakan mencapai akurasi 90,97% dengan hanya 6.09% *false positive per frame* yang lebih baik daripada metode deteksi sperma yang ada.
3. (Mohamed Elsayed, Taymour El-Sherry dan Mohamed Abdekgawad, 2014). Penelitian ini adalah merupakan alat bantu menganalisis gerak spermatozoa dengan ukuran mikro yang berbantuan komputer, atau disebut dengan *Computer Assisted Sperm Analysis (CASA)*. *CASA* yang dibuat yaitu dengan menghitung karakteristik gerak konvensional dari spermatozoa, mempelajari perilaku

spermatozoa dengan memberikan aliran cairan, sehingga dapat dilakukan *tracking* dan *rheotaxis* serta dapat memahami perilaku spermatozoa.

Prinsip kerja pada penelitian ini adalah memanfaatkan *Image-J* yang merupakan *public domain Java image* (domain program pengolah gambar berbasis Java). Aplikasi *Image-J* dapat di unduh secara *online* dan dapat digunakan pada komputer manapun dengan mesin virtual Java 1.4 atau yang lebih baru. *Image-J* yang disediakan dapat berjalan pada system operasi Windows, Mac OS, Mac OS X dan *Linux*. *Image-J* digunakan untuk menampilkan, mengedit, menganalisa, proses, menyimpan dan mencetak 8-bit, 16-bit dan 32-bit gambar, karena image-J dapat membaca banyak format gambar termasuk *TIFF*, *GIF*, *JPEG*, *BMP*, *DICOM*, *FITS* dan lain-lainnya. Mendukung "*Stacks*", serangkaian gambar dalam satu jendela, dan dapat dijalankan secara parallel dengan operasi lain, seperti mengukur jarak dan sudut. Fungsi pengolah gambar seperti *contrast manipulation*, *sharpening*, *smoothing*, *edge detection* dan *median filtering*. Dengan *Image-J* gambar dapat diperbesar dan diperkecil hingga 32:1 atau 1:32.

Pada penelitian ini juga menggunakan cara *Microfluidics* (Mikrofluida) yang merupakan teknologi baru yang berkaitan dengan manipulasi cair (*liquid manipulation*) pada skala ukuran mikron. Teknologi ini muncul di awal tahun 1990-an, yang awalnya untuk meningkatkan kinerja analisis sistem kimia, tetapi kemudian dikembangkan diberbagai bidang termasuk analisis biologis, sintesis kimia, elektronik pendinginan, optik, serta dibidang teknologi informasi.. Beberapa contoh dari proses mikrofluida ini digunakan pada analisa *processes include DNA amplification (PCR)*, *High Performance Liquid chromatography (HPLC)*, dan *immunoassays*

4. (Qiaoliang Li, Huisheng Zhang, Li Yin, et.al, 2012), membuat aplikasi untuk mendeteksi dan menghitung jumlah spermatozoa manusia pada video *streaming* dengan menggunakan *OpenCV*. Metode yang digunakan yaitu menggabungkan *Gaussian-modeling* dan metode morfologi. Algoritma *Gauss-modeling* digunakan untuk menyaring benda non-target cerah. Sedangkan metode pengolahan citra morfologi digunakan untuk meningkatkan kualitas citra video spermatozoa. Hasil dari penelitian ini dengan penggabungan beberapa metode / Algoritma ini memiliki akurasi rata-rata 95% dengan pengolahan video *streaming* secara *real-time* dari hasil tes spermatozoa manusia.

5. (A. Nurhadiyatna, A.L. Latifah, D. Fryantoni, et. Al, 2014), penelitian ini membandingkan metode deteksi gerak (*Motion Detection Methods*) untuk mendeteksi dan melacak (*tracking*) sperma manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Gaussian Mixture Model* dengan *Hole Filling Algorithm* mempunyai akurasi yang tinggi untuk deteksi sperma manusia. Teknik yang dilakukan pada penelitian ini dengan beberapa proses antara lain *Sperm Detecting*, yaitu dengan menggabungkan *Gaussian Mixture Model (GMM)* dan *Hole Filling Algorithm (HF)*, sehingga disingkat menjadi (*GMMHF*), kemudian dilakukan *sperm Tracking*, dengan metode *Kalman Filter*, tetapi disebutkan bahwa metode tersebut mempunyai kelemahan jika ada noise yang berlebihan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *GMMHF* dapat mendeteksi sel sperma. Dibandingkan dengan metode lain, *GMMHF* bukan metode yang paling unggul, yang memiliki 0,43 dari nilai *Kappa* dengan akurasi 98,01%. Namun, metode ini membutuhkan komputasi dengan metode *Grimson dan Stauffer Berbasis GMM* yang memiliki nilai *Kappa* 0,48 dengan akurasi 97,44%.
6. (Jiaqian Li, Kuo-Kun Tseng, Haiting Dong, Yifan Li, Ming Zhao dan Mingyue Ding, 2014), penelitian yang dilakukan adalah meng-indentifikasi sel spermatozoa dari sisi morfologi, apakah sehat atau tidak. Metode yang digunakan adalah gabungan antara *principal component analysis (PCA)* untuk mengekstrak fitur-fitur gambar dan *k-nearest neighbor (K-NN) algorithm* untuk mendiagnosis Kesehatan Sperma. Gambar sel spermatozoa yang dianalisa diambil dari gambar mikroskop, dengan ukuran spermatozoa yang sangat kecil. Metode diagnosis kesehatan sperma terdiri dari tiga bagian: segmentasi citra sperma, ekstraksi fitur dengan *PCA* dan klasifikasi dengan *k-nearest neighbor (K-NN) algorithm*. Pada hasil akhir percobaan akan dibandingkan antara fitur *PCA* dan fitur *SHIFT*, *K-NN classifier* dan *BPNN classifier*. Akurasi diagnosis yang dilakukan ternyata tergantung pada *training set*, salah satu hasil dengan *training set* tertentu memperoleh kinerja yang baik dengan akurasi 87,53% dibandingkan dengan metode ekstraksi fitur lain seperti *Scale-invariant feature transform (SIFT)* dan *classifier* lain seperti sebagai *backpropagation neural network (BPNN)*.
7. *CASA System* telah digunakan untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat tentang motilitas sperma yaitu kemampuan untuk bergerak spontan dan aktif, serta konsentrasi sperma. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini

adalah sebagai berikut

- a. *Smoothing* menggunakan *Gaussian Filter*
- b. *Morphological Filtering* menggunakan operasi *Top-hat*
- c. *Background Removing*
- d. *Particle Filter* menggunakan *formula Bayes*
- e. *State Space model* digunakan untuk memisahkan sperma yang satu dengan yang lain.
- f. *Likelihood* menggunakan *Euclidean Distance*
- g. *Watershed segmentation*

Proses dilanjutkan dengan *detection and tracking*, pada tahap ini pemilihan sampel sperma dilakukan dengan menggunakan *mouse click* secara manual kurang lebih 16×16 *pixel* dari hasil segmentasi. Pada tahap *tracking* di setiap *frame window* dihitung persamaannya dengan menggunakan *likelihood* untuk mencari *MMSE* menggunakan 300 partikel, sehingga posisi berikutnya dapat terdeteksi pada *frame* berikutnya. Pada penelitian ini telah berhasil melakukan *tracking* pada pergerakan sperma terutama saat terjadi tumbukan dengan sperma yang lain. Selain itu metode ini tidak tergantung pada orientasi kepala sperma.

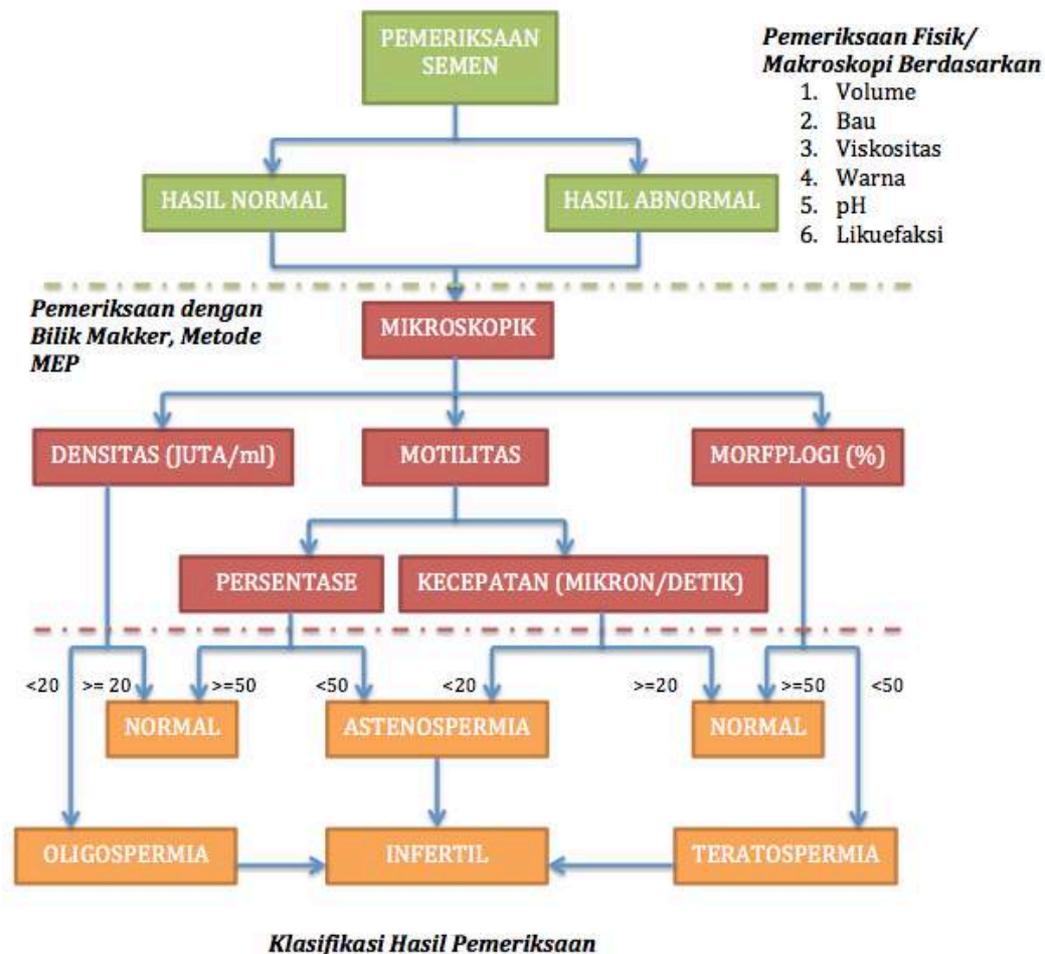
8. Pada penelitian ini dilakukan pelacakan kepala dan ekor sperma. Pada penelitian ini digunakan metode *motion template* untuk mendeteksi dan melacak pergerakan sperma. Metode tersebut diintegrasikan dengan *Kalman filter* untuk memaksimalkan *intensitas region algorithm* saat mendeteksi lokasi ekor sperma. Dengan didapatkannya kepala dan ekor sperma maka dapat dicari pergerakan sperma dan amplitudo dari denyut (kibasan) ekor sperma yang terukur. Untuk melacak kepala sperma dilakukan beberapa tahap proses yaitu: 1) *silhouette* 2) *thresholding* 3) *erosion and dilation*. Pada pelacakan ekor sperma didasarkan pada kepala sperma dan digunakan *Sperm Tracking Region Of Interest (STROI)*. Tetapi lokasi dari ekor sperma sering tidak akurat sehingga digunakan kalman filter untuk mendapatkan posisi ekor sperma yang tepat. Hasil dari penelitian ini adalah pelacakan kepala sperma, pergerakan sperma, dan amplitudo dari ekor sperma.

2.2. Teori Umum

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

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

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



Gambar 2.1. Kerangka Konsep Untuk Klasifikasi Hasil Pemeriksaan Spermatozoa

Sedangkan pada penelitian tahap kedua, yang merupakan fokus penelitian yaitu tentang motiliti spermatozoa. Penentuan tingkat keaktifan dari sperma dapat dilihat dari dua fitur yaitu kecepatan pergerakan dan pola pergerakan. Untuk mendapatkan kedua fitur ini maka perlu dilakukan penjejakan terhadap pergerakan setiap spermatozoa. Penyelesaian kasus ini bisa dilakukan dengan menggunakan serangkaian metode untuk mendeteksi pergerakan objek secara umum. Tahap pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan ekstraksi *frame*, kemudian dilakukan penentuan perbedaan temporal antar *frame* untuk mendapatkan segmentasi pergerakan spermatozoa. Pada citra hasil segmentasi pergerakan dilakukan penghilangan noise berupa spot-spot kecil. Sisanya adalah area-area yang seharusnya spermatozoa. Proses selanjutnya adalah dengan melakukan penjejakan terhadap spermatozoa-spermatozoa ini pada *frame-frame* berikutnya dari video spermatozoa. Saat penjejakan bisa dihitung kecepatan pergerakan spermatozoa.

2.3. Pemrosesan Data Akusisi

2.3.1. Spermatozoa Manusia

Spermatozoa adalah sel seks pria atau gamet yang membuahi sel telur wanita atau ovum pada organisme yang bereproduksi secara seksual, termasuk semua hewan dan beberapa tanaman (Sridianti, 2015). Tidak seperti kebanyakan sel-sel yang membentuk organisme multiseluler, masing-masing spermatozoa terdiri atas kepala dan ekor. Kepala terdiri atas inti sel yang padat dengan hanya sedikit sitoplasma dan lapisan membran sel di sekeliling permukaannya. Di bagian luar, dua pertiga anterior kepala terdapat selubung tebal yang disebut akrosom yang terutama dibentuk oleh *apparatus Golgi*. Selubung ini mengandung sejumlah enzim yang serupa dengan enzim yang ditemukan pada lisosom dari sel-sel yang khas, meliputi *hialuronidase* (yang dapat mencerna *filamen proteoglikan* jaringan) dan *enzim proteolitik* yang sangat kuat (yang dapat mencerna protein). Enzim ini memainkan peranan penting sehingga memungkinkan sperma untuk memasuki ovum dan membuahinya (Guyton dan Hall, 2007).

Ekor sperma, yang disebut *flagellum*, memiliki tiga komponen utama yaitu (1) kerangka pusat yang secara keseluruhan disebut aksonema, yang memiliki struktur yang serupa dengan struktur silia yang terdapat pada permukaan sel tipe lain; (2) membran sel tipis yang menutupi *aksonema*; dan (3) sekelompok mitokondria yang mengelilingi *aksonema* di bagian proksimal ekor (badan ekor) (Guyton dan Hall, 2007).

Gerakan maju-mundur ekor (gerakan *flagella*) memberikan motilitas sperma. Gerakan ini disebabkan oleh gerakan meluncur longitudinal secara ritmis di antara *tubulus posterior* dan *anterior* yang membentuk aksonema. Sperma yang normal bergerak dalam medium cair dengan kecepatan 1 sampai 4 mm/menit. Kecepatan ini akan memungkinkan sperma untuk bergerak melalui *traktus genitalia* wanita untuk mencapai *ovum* (Guyton dan Hall, 2007). Proses selanjutnya setelah pembentukan sperma adalah pematangan sperma di epididimis. Setelah terbentuk di tubulus seminiferus, sperma membutuhkan waktu beberapa hari untuk melewati tubulus epididimis yang panjangnya 6 meter. Sperma yang bergerak dari tubulus seminiferus dan dari bagian awal epididimis adalah sperma yang belum motil, dan tidak dapat membuahi ovum. Akan tetapi, setelah sperma berada dalam epididimis selama 18-24

jam, sperma akan memiliki kemampuan motilitas (Guyton dan Hall, 2007). Kemampuan bergerak maju (motilitas progresif) yang diperoleh di epididimis, melibatkan aktivasi suatu protein unik yang disebut *CatSper*, yang $2+ 2+ Ca$ yang memungkinkan *influx Ca generalisata c-AMP*. Selain itu, spermatozoa mengekspresikan reseptor *olfaktorius*, dan ovarium menghasilkan molekul mirip odoran. Bukti-bukti terkini mengisyaratkan bahwa berbagai molekul ini dan reseptornya saling berinteraksi, yang memperkuat gerakan spermatozoa ke arah ovarium (Ganong, 2008).

Cairan yang diejakulasikan pada saat orgasme, yakni semen (air mani), mengandung sperma dan sekret vesikula seminalis, prostat, kelenjar *Cowper*, dan mungkin kelenjar uretra. Volume rerata per ejakulat adalah 2,5-3,5 mL setelah beberapa hari tidak dikeluarkan. Volume semen dan hitung sperma menurun cepat bila ejakulasi berkurang. Walaupun hanya diperlukan satu sperma untuk membuahi ovum, setiap milliliter semen normalnya mengandung 100 juta sperma. Lima puluh persen pria dengan hitung sperma 20- 40 juta/mL dan pada dasarnya, semua pria dengan nilai hitung yang kurang dari 20 juta/mL dianggap mandul. Adanya banyak spermatozoa yang imotil atau cacat juga berkorelasi dengan infertilitas. *Prostaglandin* dalam semen, yang sebenarnya berasal dari vesikula seminalis, kadarnya cukup, namun fungsi turunan asam lemak ini di dalam semen tidak diketahui (Ganong, 2008). Sperma manusia bergerak dengan kecepatan sekitar 3 mm/menit melintasi saluran *genitalia* wanita. Sperma mencapai tuba uterina 30-60 menit setelah kopulasi. Pada beberapa spesies, kontraksi organ wanita mempermudah transportasi sperma ke tuba uterina, namun tidak diketahui apakah kontraksi semacam itu penting pada manusia (Ganong, 2008)

2.3.2. Analisis Semen Manusia

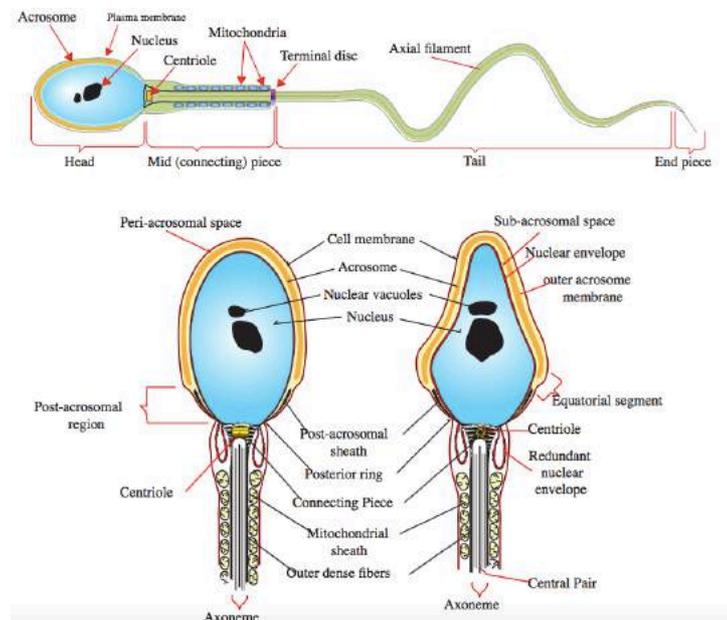
Dilaboratorium Terpadu Politeknik Kesehatan Surabaya, di klinik fertilitas & bayi tabung Tiara Citra Rumah Sakit Putri Surabaya dan Klinik Prahita Surabaya, dimana analisis semen dari kasus-kasus ini dilakukan, parameter yang diperiksa meliputi warna, bau, pH, volume, viskositas, konsentrasi spermatozoa dengan persentase yang motil dan yang mati, kecepatan motilitas rata-rata spermatozoa, persentase morfologi abnormal dan sel-sel lain, serta uji *fructose* yang hanya dilakukan khusus pada keadaan azoospermia. Sedangkan persiapannya meliputi

petunjuk abstinensi, cara memperoleh semen dan pemilihan penampung semen yang disediakan oleh laboratorium.

Hal-hal yang perlu diperiksa atau diamati dalam analisis semen adalah faktor keadaan makroskopis meliputi warna, volume, bau, pH dan viskositas. Sedangkan faktor mikroskopis meliputi jumlah spermatozoa per ml, jumlah spermatozoa motil per-ml, motilitas spermatozoa, kecepatan, morfologi spermatozoa, sel-sel muda, *eritrosit, leukosit, aglutinasi* seperti pada Gambar 2.2.

2.3.3. Pengamatan Semen Secara Makroskopis

Terdapat lima hal yang diukur pada pemeriksaan makroskopik ini, yaitu pH, koagulasi/pengenceran, warna, viskositas dan volume semen. Semen normal manusia berwarna agak putih hingga kuning keabu-abuan. Bila terkontaminasi dengan urin, maka semen berwarna kuning. Semen juga dapat berwarna merah muda pada pasien dengan perdarahan uretra dan kekuning-kuningan pada pasien *jaundice*. Keadaan fisik semen yang baru diejakulasi adalah kental. Tapi sekitar 20 menit kemudian akan mengalami pengenceran, disebut *lekuifaksi* oleh *fibrinolisin enzim proteolitik* yang disekresikan oleh prostat. Jika pengenceran tidak wajar berarti ada ketidakberesan pada kelenjar itu.



Gambar 2.2. Struktur Morfologi Sperma
(Sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Spermatozoid>)

Pengukuran pH merupakan komponen standar dalam analisis semen yang ditentukan oleh sekresi vesika seminalis dan prostat. pH normal adalah sekitar 7,2 hingga 8,0. Karena sekresi vesika seminalis bersifat alkali, pH asam mengindikasikan terdapat hipoplasia vesika seminalis yang biasa ditemui pada pasien *azoospermia*. Pemeriksaan makroskopis semen meliputi :

- a. **Warna:** Warna normal adalah utih/agak keruh. Kadang-kadang ditemukan juga warna kekuning-kuningan atau merah. Warna kekuning-kuningan mungkin disebabkan karena radang saluran kencing atau abstinensi terlalu lama. Warna merah biasanya oleh karena tercemar sel eritrosit (*homospermi*).
- b. **Volume:** Cairan semen yang ditampung diukur dengan gelas ukur, dan dikatakan normospermi bila volumenya normal yaitu 2 – 6 ml, dengan harga rata-rata 2 – 3,5 ml. *Aspermi* bila tidak keluar sperma waktu ejakulasi. *Hiperspermi* bila volume lebih dari 6 ml. *Hiposperspermi* bila volumenya kurang dari 1 ml, ini mungkin disebabkan karena :
 - a. Tercecer pada waktu memasukkan semen ke dalam botol.
 - b. Keadaan patologis antara lain :
 - i. Penyumbatan kedua duktus ejakulatorius
 - ii. Kelainan kongenital misalnya agenesis vesikula seminalis

Hiperspermi biasanya diikuti oleh konsentrasi spermatozoa yang rendah dan *hiperspermi* dapat disebabkan :

- a. *Abstinensi* yang lama.
- b. Produksi kelenjar asesoris yang berlebihan.

Secara kasar volume semen terdiri dari secret kelenjar *bulbouretral* 3%, secret kelenjar prostat 20%, spermatozoa dengan cairan dari *epididymis* 7%, dan sisanya yang merupakan bagian terbesar dari vesika seminalis 70%. Mengenai cara pengeluarannya, pada waktu terjadi ejakulasi mula-mula secret kelenjar prostat, baru spermatozoa dengan cairan dan *epididymis dan ampula*, lalu yang terakhir cairan seminalis. Volume semen sangat bervariasi antara tiap-tiap pria, bahkan pada seorang pria pada tiap-tiap ejakulasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi sangat banyak, antara lain lamanya abstinensi, keadaan emosi ataupun rangsangan pada waktu terjadinya ejakulasi.

- c. **Bau:** Spermatozoa mempunyai bau khas, sekali membau tidak akan lupalagi. Bau ini mungkin disebabkan oleh proses oksidasi dari spermia yang diproduksi oleh prostat. Semen dapat berbau busuk atau amis bila terjadi infeksi.
- d. **pH:** Cara untuk mengetahui kesamaan semen digunakan kertas pH atau lakmus, biasanya sifatnya sedikit alkalis. Semen yang terlalu lama akan berubah pHnya. Pada infeksi akut kelenjar prostat pHnya berubah menjadi diatas 8, atau menjadi 7,2 misalnya pada infeksi kronis organ-organ tadi. WHO memakai kriteria normal yang lazim yaitu 7,2 – 7,8.
- e. **Viskositas:** Viskositas semen diukur setelah mengalami likuifaksi betul (15 – 20 menit setelah ejakulasi). Pengukuran dapat dilakukan dengan 2 cara :
 - a. Dengan pipet *pasteur* : semen diisap kedalam pipet tersebut, pada waktu pipet diangkat maka akan tertinggal semen berbentuk benang pada ujung pipet. Panjang benang diukur, normal panjangnya 3 – 5 cm.
 - b. Menggunakan pipet yang sudah mengalami standarisasi (*Elliason*). Pipet dalam posisi tegak, lalu diukur waktu yang diperlukan setetes semen untuk lepas dari ujung pipet tadi, angka normal adalah 1 – 2 detik.
- f. **Likuefaksi:** Semen normal pada suhu ruangan akan mengalami *likuefaksi* dalam 60 menit, walau pada umumnya sudah terjadi dalam 15 menit. Pada beberapa kasus, likuefaksi lengkap tidak terjadi dalam 60 menit. Hal ini bisa terjadi bila mengandung granula seperti jelly (badan gelatin yang tidak mencair), tetapi tidak memiliki makna secara klinis. Bila hal ini ditemukan akan sangat mengganggu dalam analisis semen, sehingga perlu dibantu dengan pencampuran enzimatis. Secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

2.3.4. Pengamatan Semen Secara Mikroskopis

- a. **Aglutinasi sperma:** Pemeriksaan ini dimulai dengan hapusan tebal dengan meletakkan semen pada *slide* yang ditutup oleh *cover slip* dan diamati pada pembesaran 1000x. Melalui metode ini, *aglutinasi* sperma, keberadaan sperma dan motilitas subjektif sperma dapat diamati. Dalam keadaan normal tidak ditemukan adanya *aglutinasi* dan jumlah leukosit ≤ 1 juta/mL serta tidak ditemukan adanya *immature germ cell*. Adanya adhesi sperma ke elemen non sperma mengindikasikan adanya infeksi kelenjar aksesoris, adanya adhesi sperma-sperma mengindikasikan adanya antibodi antisperma sekunder .

Tabel 2.1. Gambaran Makroskopik Analisis Semen (Standart WHO, 2010)

Parameter	Nilai Normal	Abnormalitas	Signifikansi Klinik
pH	$\geq 7,2$	Asam, $< 7,2$	Dengan volume rendah dan non koagulasi; adanya ketiadaan kongenital vas deferens bilateral, obstruksi duktus ejakulatorius, ejakulasi retrograde parsial
Koagulasi/ pengenceran	Koagulasi dan pengenceran dalam 15-60 menit.	Tidak ada koagulasi dan pemanjangan pengenceran >60 menit.	Ketiadaan vesika seminalis kongenital.
Warna	Putih keabu-abuan	Kekuning-kuningan, merah kecoklatan	<i>Jaundice</i> , karotenemia, obat, inflamasi vesika urinaria.
Viskositas	≤ 2 cm	>2 cm	Berhubungan dengan motilitas yang rendah.
Volume	$\geq 1,5$ mL	0 (<i>azoospermia</i>) $<1,5$ mL (<i>hypospermia</i>)	Ejakulasi retrograde pengumpulan yang tidak lengkap, ejakulasi retrograde parsial, abstinensi seksual

- b. **Jumlah dan konsentrasi:** Pemeriksaan ini dilakukan setelah terjadi pengenceran cairan semen. Jumlah sperma normal ≥ 20 juta sperma per mL. Bila jumlahnya < 20 juta sperma/mL maka disebut sebagai *oligospermia*. *Azoospermia* (ketiadaan sperma) dapat disebabkan karena adanya gangguan saat *spermatogenesis*, disfungsi ejakulasi ataupun karena adanya obstruksi. Laboratorium WHO menetapkan batas toleransi jumlah sperma terendah yang masih dikatakan normal adalah ≥ 20 juta sperma/mL atau jumlah sperma total ≥ 39 juta/ejakulasi (WHO, 2010).
- c. **Motilitas:** Motilitas dikenali sebagai prediktor yang terpenting dalam aspek fungsional spermatozoa. Motilitas sperma merupakan refleksi perkembangan normal dan kematangan spermatozoa dalam epididimis. Menurut WHO tahun 2010, motilitas spermatozoa dikelompokkan menjadi sebagai berikut:
- 1) *Progressive motility* (PR): Spermatozoa bergerak bebas, baik lurus maupun

lingkaran besar, dalam kecepatan apapun.

- 2) *Non-progressive motility* (NP): semua jenis spermatozoa yang tidak memiliki kriteria progresif, seperti berenang dalam lingkaran kecil, ekor/flagel yang sulit menggerakkan kepala, atau hanya ekor saja yang bergerak.
 - 3) *Immotility* (IM): tidak bergerak sama sekali Yang dikatakan memiliki nilai motilitas normal yaitu *Progressive motility* (PR) $\geq 32\%$ atau PR + NP $\geq 40\%$. Disebut asthenospermia (motilitas yang tidak sesuai dengan kriteria WHO) dapat disebabkan oleh antibodi antisperma (15%), periode abstinensi yang panjang, infeksi traktus genitalia obstruksi duktus parsial, dan varikokel. Hal ini dapat menurunkan motilitas sperma dalam penetrasi ke mukosa servikal.
- d. **Morfologi:** Morfologi sperma menunjukkan persentasi bentuk abnormal yang ditemukan dalam semen, Tabel 2.2. Terdapat dua klasifikasi yang digunakan untuk menentukan morfologi sperma yaitu berdasarkan kriteria WHO, dan kriteria *Kruger's strict. Teratozoospermia* (<15% morfologi normal sperma) dapat terjadi pada keadaan demam, varikokel, dan stres (Wein *et al.*, 2012).

Tabel 2.2 Klasifikasi Morfologi Sperma (Wein *et al.*, 2012)

	World Health Organization (WHO)	Kruger's Strict Criteria
Kisaran referensi normal	$\geq 4\%$	$> 14\%$
Kepala		
Bentuk	Oval	Oval, pinggiran halus
Akrosom	40%-70% dari permukaan kepala	40%-70% dari permukaan kepala
Ukuran	Panjang 4-5, 5 mm, lebar 2, 5-3, 5 mm, P/l 1,5-1,72	Panjang 3-5mm Lebar 2-3 mm
Vakuola	<20% area kepala	$\leq 1/4$ area kepala
Bagian tengah		
Bentuk	Lurus regular, melengkung aksial	Kurus, lurus regular, melengkung aksial
Ukuran	<1/3 area kepala <1/3 area kepala	Lebar < 1mm, panjang 1,5 x kepala <1/3 area kepala
Droplet sitoplasma		
Ekor		
Tampilan Lebar	Kurus , tidak melengkung	Bentuk sama, tidak melengkung, lebih kurus dari bagian tengahnya
Panjang	>45 mm	10 x kepala

2.3.5. Mikroskop Optik

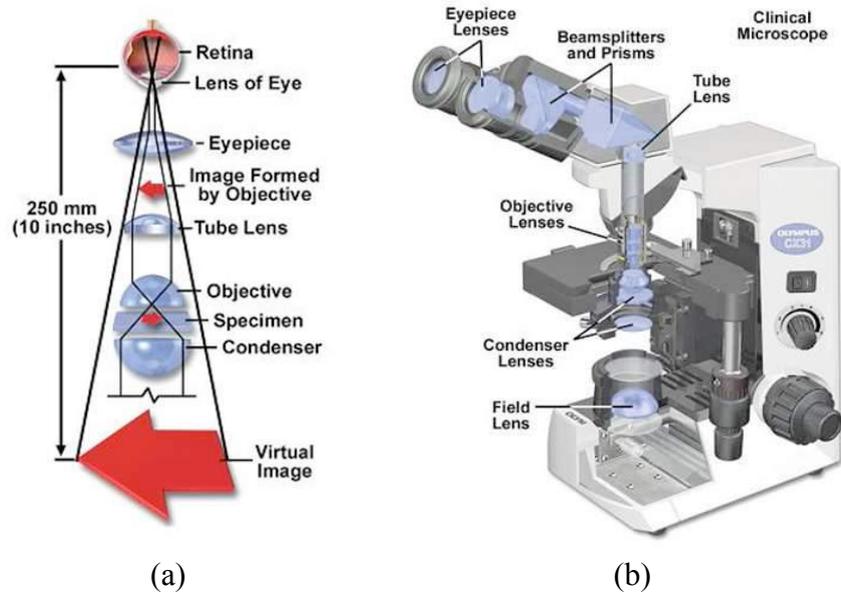
Mikroskop Optik adalah mikroskop yang menggunakan cahaya yang bisa dilihat mata sebagai sumber cahaya. Mikroskop optik yang tergolong paling sederhana adalah *bright field mikroskop*. Sedangkan mikroskop optik yang khusus dibuat untuk meningkatkan kontras dan memiliki kontras yang paling tinggi adalah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

2.3.5.1. *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 2.3.

Pada Gambar 2.3. 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*, kekontrasan *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.



Gambar 2.3. 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)

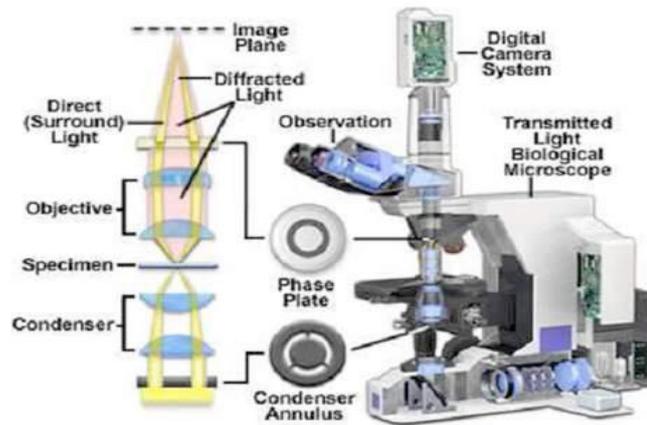
2.3.5.2. Phase contrast microscope

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*. Prinsip *phase contrast microscopy* ditemukan oleh Frits Zernike pada 1934, dan pada tahun 1953 memenangkan penghargaan Nobel oleh karena penemuannya ini.

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. Gambar 2.4 memperlihatkan komponen utama *phase contrast microscope*, terlihat

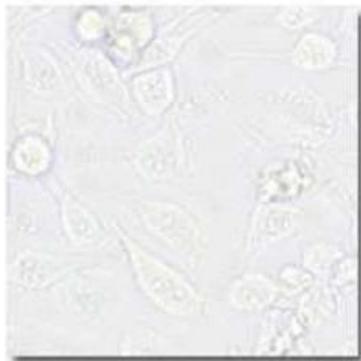
bahwa ada penambahan *transparent phase plate* yang berfungsi untuk meningkatkan pergeseran fase menjadi setengah panjang gelombang.

Phase contrast microscope umum digunakan untuk mengamati objek transparan yang tidak berwarna karena memiliki kontras yang jauh lebih tinggi. Gambar 2.5. memperlihatkan perbandingan sel hidup dilihat dengan *bright field microscope* dan *phase contrast microscope*.

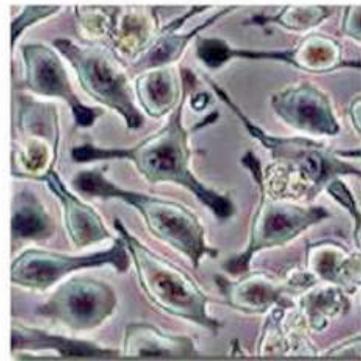


Gambar 2.4 Phase contrast microscope

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



(a)



(b)

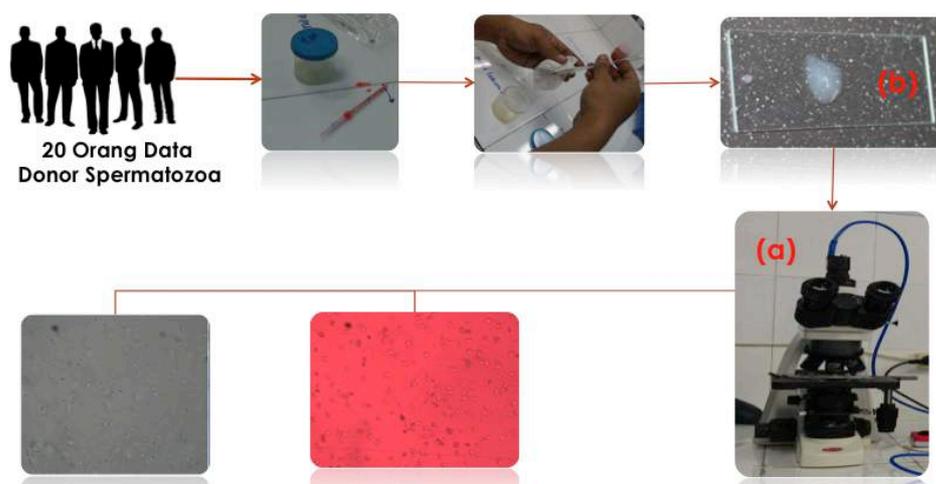
Gambar 2.5 Perbandingan kontras *image* sel hidup dari dua jenis mikroskop : (a) *bright field microscope* , (b) *phase contrast microscope*

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

2.3.6. Akuisisi Data Sperma

Seperti yang dijelaskan diatas, penelitian ini diawali dengan melakukan studi literature tentang analisis spermatozoa pada manusia, mempelajari penelitian-penelitian yang terdahulu yang berkaitan dengan analisis sperma, dan mengadakan beberapa survey di beberapa laboratorium infertilitas yang ada di kota Surabaya (salah satunya adalah Klinik Infertilitas Citra media Rumah Sakit Putri Surabaya). Tahap berikutnya adalah melakukan pengambilan data citra dan video sperma di Laboratorium Terpadu (Mikrobiologi) Politeknik Kesehatan Surabaya.

Data real video sperma diperoleh dari hasil pemindaian cairan sperma 20 relawan yang bersedia menyumbangkan cairan spermanya. Sebelum diamati, sampel tersebut didiamkan terlebih dahulu sekitar 20-30 menit dengan suhu ruang untuk kemudian diamati. Hal tersebut perlu dilakukan karena pada saat cairan sperma dikeluarkan perlu pengenceran supaya *spermatozoa* yang diamati tidak terlalu rapat, bergerak lebih aktif dan dapat jelas dibedakan. Pengambilan sperma dari wadah menggunakan pipet untuk ditaruh ke dalam *object glass* diatur dengan mengupayakan hanya mengambil bagian dalam dari wadah. Pengambilan video data real menggunakan *bright field microscope* yang terdapat di Laboratorium Terpadu (Mikrobiologi) Politeknik Kesehatan Surabaya dan kamera yang digunakan merk *Point Grey* dengan tipe FL3-U3-13S2C-CS, proses pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 2.6. dan hasil lengkap pengambilan data citra dan video pada Lampiran 4.



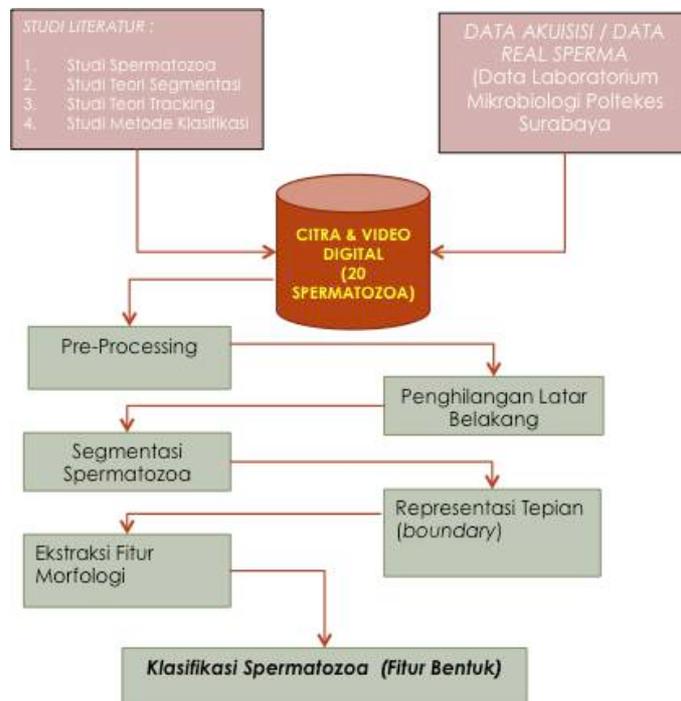
Gambar 2.6. Prosedur pengambilan data citra dan video sperma, (a) *Bright field microscope* yang digunakan, (b) Cairan sperma yang sudah diteteskan di atas kaca preparat

2.4. Pemrosesan Awal Ketidaknormalan Spermatozoa

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, untuk identifikasi ketidaknormalan morfologi spermatozoa, maka dilakukan tahapan-tahapan berikut: *Preprocessing*, Penghilangan latar belakang, Segmentasi Spermatozoa, *Representasi Boundary*, Ekstraksi Fitur Morfologi dan Klasifikasi Spermatozoa.

2.4.1. Preprocessing

Perbaikan kualitas citra merupakan tahapan *pre-processing* dalam pengolahan citra yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas suatu citra. Indikator citra dengan kualitas baik adalah hasil segmentasi. Jika tanpa melalui proses perbaikan kualitas citra, citra hasil akuisisi sudah dapat tersegmentasi dengan baik, maka tahapan perbaikan kualitas citra boleh tidak dilakukan. Namun apabila hasil segmentasi belum baik, maka perlu dilakukan tahapan perbaikan kualitas citra. Oleh sebab itu, perbaikan kualitas citra dapat dikatakan tahapan yang bersifat opsional.



Gambar 2.7. Pemrosesan Awal Ketidaknormalan Sperma Berdasarkan Morfologi

Selain bersifat opsional, perbaikan kualitas citra juga bersifat subjektif dan eksperimentatif karena tidak ada algoritma yang baku untuk meningkatkan kualitas citra. Perbaikan kualitas citra dapat dilakukan melalui operasi titik, operasi spasial, maupun operasi transformasi. Metode perbaikan kualitas citra di antaranya adalah: *intensity adjustment, contrast stretching, filtering (median filter, low pass filter, high pass filter, dsb)*.

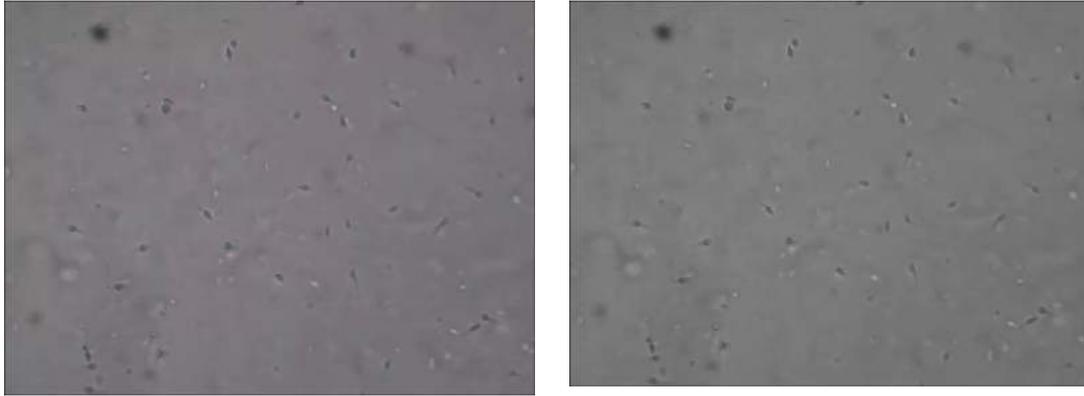
2.4.1.1. Konversi citra dari RGB ke *Grey-Scale*

Konversi RGB ke *grey-scale* bisa dilakukan dengan menggunakan transformasi yang sederhana. Konversi *grey-scale* adalah langkah awal dalam beberapa algoritma analisis citra, karena pada dasarnya menyederhanakan (mengurangi) jumlah informasi dalam citra. Meskipun *grey-scale* berisi informasi kurang dari pada citra warna, sebagian informasi penting, informasi yang berhubungan dengan fitur dipertahankan seperti tepi, daerah, gumpalan dan sebagainya (Solomon, 2011). Contoh konversi citra RGB ke citra *grey scale* dapat dilihat pada Gambar 2.7. Konversi RGB ke *grey-scale* dapat dilakukan dengan Persamaan (2.1)

$$I = W_R \cdot R + W_G \cdot G + W_B \cdot B \quad (2.1)$$

Dimana: I adalah intensitas, $W_R = \text{weight factor R}$, $W_G = \text{weight factor G}$, $W_B = \text{weight factor B}$. Untuk memastikan Persamaan (2.1) *weight factor* harus berjumlah sama dengan satu yaitu $W_R + W_G + W_B = 1$. Sebenarnya tiga warna sama-sama penting, karena itu $W_R = W_G = W_B = 1/3$. Adapun untuk mengonversikan citra berskala keabuan ke citra biner, strategi yang dipakai yaitu dengan menerapkan suatu nilai yang dikenal sebagai nilai ambang (*threshold*). Nilai tersebut dipakai untuk menentukan suatu intensitas akan dikonversikan menjadi 0 atau menjadi 1. Secara matematis, konversi dinyatakan dengan persamaan (2.2)

$$b(i) = \begin{cases} 0, & i \leq 0 \\ 1, & i < 0 \end{cases} \quad (2.2)$$



Gambar 2.8. Konversi *RGB* ke *Grey scale* pada Citra Spermatozoa. (a) Citra *RGB*, (b) Citra *Grey Scale*

2.4.1.2. Konversi citra dari *RGB* ke *HSV*

Persepsi ruang warna (*color space*) adalah cara alternatif yang merepresentasikan warna citra yang benar dengan cara yang lebih alami untuk persepsi manusia dan pemahaman tentang warna dari representasi *RGB*. Banyak representasi warna alternatif yang tersedia, tetapi di sini berkonsentrasi pada *Hue*, *Saturation* dan *Value* (*HSV*) yang merupakan ruang warna yang sangat populer dalam aplikasi analisis citra.

Perubahan dalam ruang warna ini mengikuti perseptual gradien warna yang dapat diterima. Dari perspektif analisis citra, memungkinkan pemisahan warna dari pencahayaan untuk derajat yang lebih besar (Solomon, 2011). Masing-masing dari ketiga parameter tersebut adalah *H* (*hue*) yaitu panjang gelombang dominan dari warna, misalnya merah, biru, hijau. *Hue* secara matematis didapatkan dengan Persamaan (2.3). *S* (*saturation*) yaitu kemurnian warna (dalam arti jumlah cahaya putih yang dicampurnya) didapatkan dengan Persamaan (2.4). *V* (*value*) yaitu kecerahan warna (juga dikenal sebagai *luminance*), bisa didapatkan dengan persamaan (2.5)

$$H = \begin{cases} \frac{G-B}{V-\min(R,G,B)} \cdot 60^\circ & \text{apabila } V = R \text{ dan } G \geq B; \\ \frac{B-R}{V-\min(R,G,B)} \cdot 60^\circ & \text{apabila } G = V \\ \frac{R-G}{V-\min(R,G,B)} \cdot 60^\circ & \text{apabila } B = V \\ \frac{R-B}{V-\min(R,G,B)} \cdot 60^\circ & \text{apabila } V = R \text{ dan } G < B \end{cases} \quad (2.3)$$

$$S = \frac{V - \min(R, G, B)}{V} S \in [0, 1] \quad (2.4)$$

$$V = \{R, G, B\} V \in [0, 255] \quad (2.5)$$

2.4.1.3. Segmentasi Video Spermatozoa Dengan *Gaussian Filter*

Gaussian filter digunakan untuk mensamarkan gambar, sehingga *noise* yang terdapat pada gambar dan detail dari gambar akan berkurang (Li, Q, 2012). Pada satu dimensi, fungsi Gaussian yang digunakan dapat ditulis sebagai berikut:

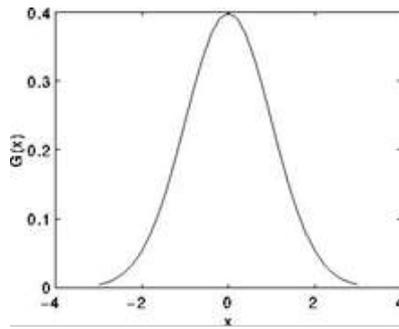
$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2.6)$$

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 2.9.

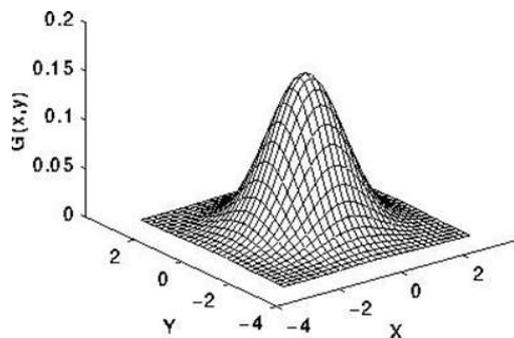
Jika diaplikasikan pada gambar, maka dibutuhkan 2D (dimensi) distribusi *Gaussian*. Sehingga ada 2 distribusi 1D *Gaussian* yang digunakan, masing-masing untuk sumbu x dan sumbu y . Persamaan untuk 2D distribusi *Gaussian* dapat ditulis sebagai berikut:

$$G(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.7)$$

Bentuk dari distribusi 2D *Gaussian* dengan nilai mean (0,0) dan standard deviasi sebesar 1, dapat dilihat pada Gambar 2.10. *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.



Gambar 2.9. Distribusi Gaussian 1D
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>



Gambar 2.10. Distribusi 2D Gaussian
<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/gsmooth.htm>

2.4.2. Background Subtraction Pada Video Spermatozoa

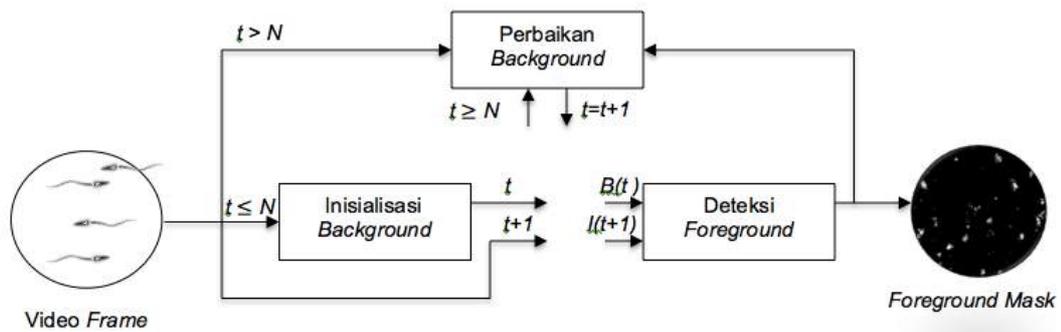
Background subtraction adalah teknik yang digunakan untuk mendeteksi *foreground mask* (istilah untuk *binary image* yang berisikan informasi tentang objek bergerak dalam *frame*) dalam rekaman video ataupun hasil tangkapan kamera. Teknik ini banyak dan umum digunakan dalam bidang *image processing* 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 2.11.

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

Menurut (Leung, 2010) 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 1.1.



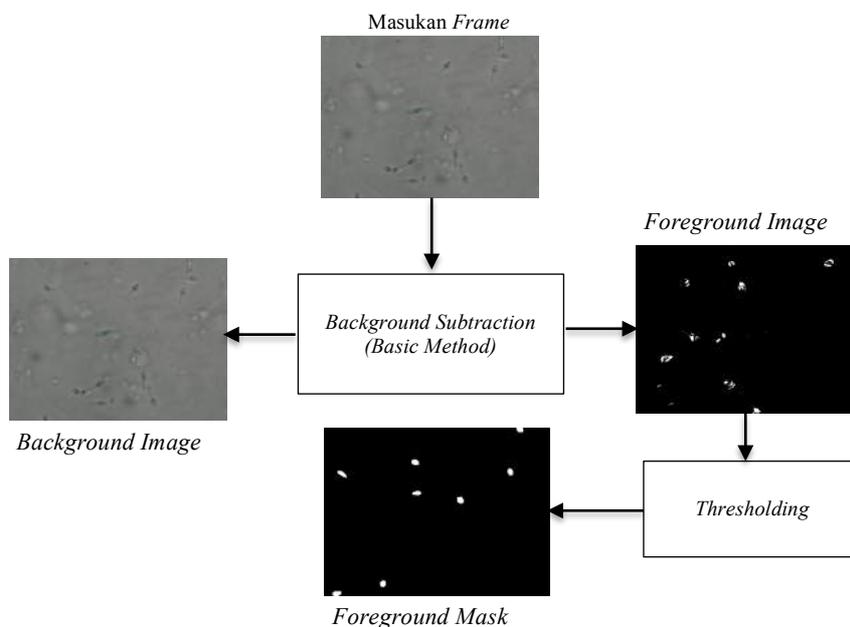
Gambar 2.11. Proses background subtraction

Tabel 2.3. Hasil *review background subtraction* (Li Q, 2012) dan penelitian (Basuki, 2016)

Base Method	Algoritma	Review Background Subtraction dari Penelitian (Li Q, et al., 2012)			Hasil Penelitian Background Subtraction (Basuki, et al., 2016)		
		Recall	Precision	F-Measure	Recall	Precision	F-Measure
Basic Method	Frame Difference	0.702	0.925	0.798	0.870	0.612	0.719
	Weighted Moving Mean	0.723	0.915	0.807	0.827	0.703	0.760
	Weighted Moving Variance	0.721	0.912	0.805	0.805	0.874	0.838
Statistical Method	Single Gaussian	0.795	0.922	0.855	0.907	0.805	0.853
	Gaussian Mixture Model	0.793	0.912	0.847	0.847	0.713	0.774
	Kernel Density Estimation				0.849	0.483	0.616

2.4.2.1. 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*. Ada 6 (enam) algoritma *basic model* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *frame difference*, *weighted moving mean*, *dweighted moving variance*, *Adaptive Background Learning*, *Fuzzy Choquet Integral* dan *Wren Gaussian Average*. 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 dibahas dalam penulisan penelitian ini adalah *frame difference*, *weighted moving mean*, *weighted moving average* dan *Adaptive Background Learning*. Alur proses dari *basic model background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Alur proses dari basic model background subtraction

2.4.2.1. *Frame Difference*

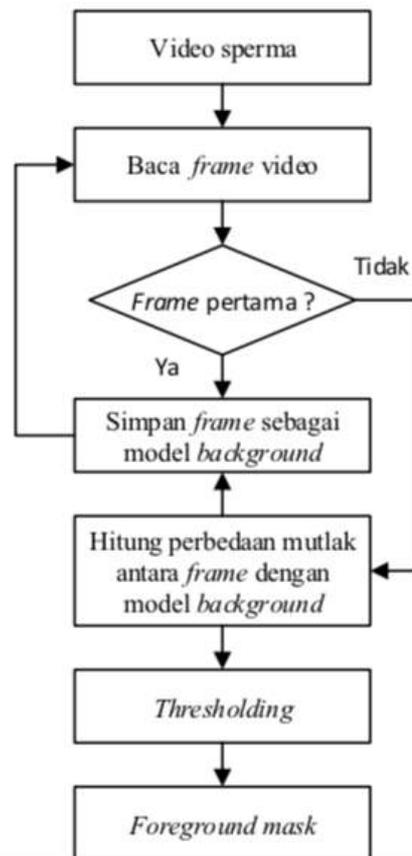
Pada algoritma ini, model *background* diambil dari *frame* (f) sesaat sebelum *current frame*. Persamaan yang digunakan untuk memodelkan gambar *background* (B) pada algoritma *Frame Difference* didefinisikan dengan:

$$B = f_{t-1} \quad (2.8)$$

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

$$F = |f_t - B| \quad (2.9)$$

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 2.13.



Gambar 2.13 Alur diagram dari algoritma *Frame Difference*

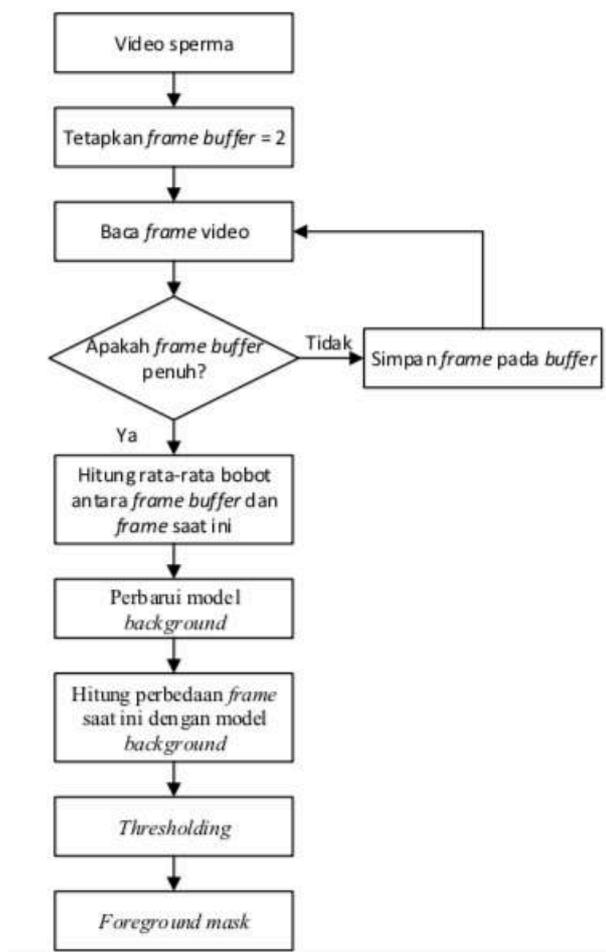
2.4.2.1.2. *Weighted Moving Mean*

Algoritma ini memodelkan gambar *background* dengan menghitung rata-rata dari current frame dengan beberapa frame sebelumnya (Basuki, 2016). 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:

$$B = (f_t \cdot w_1) + (f_{t-1} \cdot w_2) + (f_{t-3} \cdot w_2) \quad (2.10)$$

Alur dari algoritma *Weighted Moving Mean* ini dapat dilihat pada Gambar 2.14.



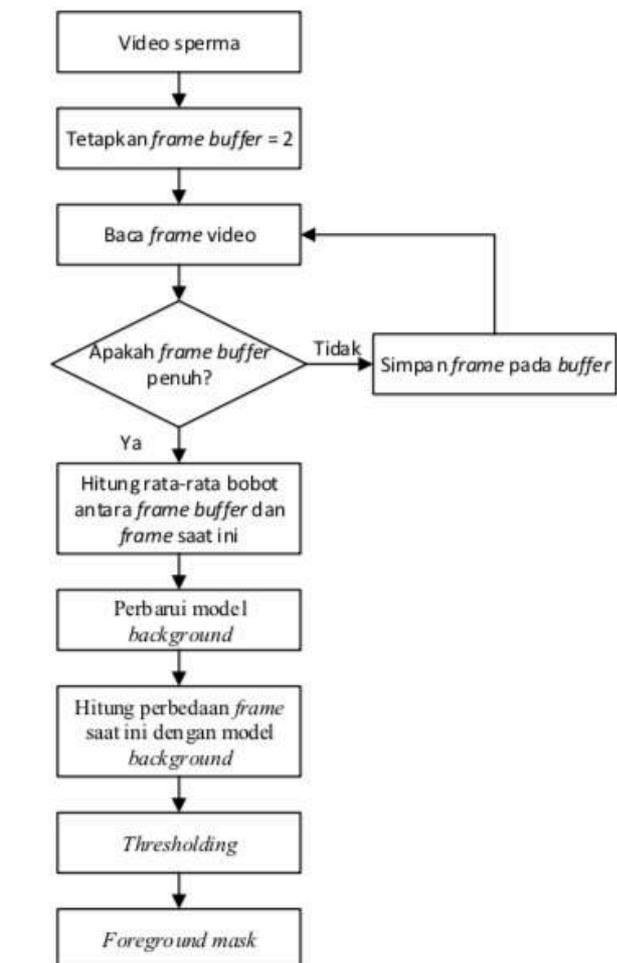
Gambar 2.14. Alur diagram dari algoritma *Weighted Moving Mean*

2.4.2.1.3. *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:

$$B = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (f_i - (f_i \cdot w_1) + (f_{i-1} \cdot w_1) + (f_{i-2} \cdot w_2))^2} \quad (2.11.)$$

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



Gambar 2.15. Alur diagram dari algoritma *Weighted Moving Variance*

2.4.2.1.4. Adaptive Background Learning

Sebuah *background* adalah suatu gambar yang di dalamnya terdapat obyek-obyek yang tidak bergerak (obyek static). Suatu gambar yang berisi obyek yang bergerak disebut *foreground*. Pada aplikasi-aplikasi yang membutuhkan input berupa *background* untuk memisahkan antara *background* dan *foreground* dibutuhkan suatu inisialisasi ulang apabila terdapat perubahan pada *background* (Silvia R, 2008). Bila tidak dilakukan inisialisasi ulang, mengakibatkan kesalahan pada *foreground* yang dihasilkan. Perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada *background* adalah perubahan intensitas cahaya dari siang hari ke sore hari, perubahan bayangan benda yang terdapat pada *background* yang diakibatkan oleh perubahan posisi matahari, perubahan posisi benda pada *background*, penambahan benda dalam *background*, dan sebagainya. Untuk mengurangi kesalahan yang terjadi karena perubahan *background* maka diperlukan suatu *adaptive background* yaitu *background* yang dapat menyesuaikan dengan perubahan-perubahan yang terjadi pada *background*.

Metode *adaptive background* yang umum adalah merata-rata gabungan nilai piksel dari semua input yang berurutan (Stauffer, 1999). Namun metode ini tidak dapat berjalan dengan baik jika diberi input yang memiliki banyak obyek bergerak. Untuk menutupi kekurangan ini terdapat metode *adaptive background* mixture models yang menggunakan *Gaussian Mixture Models*.

2.4.2.2. 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)*, *Mixture Of Gaussian (MOG V1 dan MOG V2)*, *Kernel Density Estimation (KDE)*, *Zivkovic GMM*, *T2FGMM_UV*, *T2FMRF_UV*, *PBAS*, *VuMeter*, *Eigen Background*, *Adaptive SOM*, *Adaptive Selective Background Learning* dan *Independent Multimodal*. Tetapi yang dibahas pada buku penelitian ini adalah 4 algoritma *statistical method* antara lain: *Single Gaussian*, *Gaussian Mixture*

Model (GMM), *Mixture Of Gaussian* (*MOG V1* dan *MOG V2*) dan *Kernel Density Estimation* (KDE).

Secara umum, alur dari *statistical based background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 2.16.

2.4.2.2.1. *Single Gaussian*

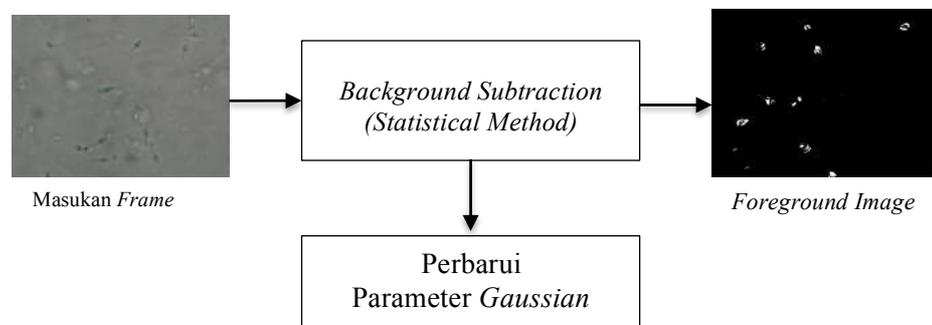
Algoritma ini pertama kali diperkenalkan oleh Christopher Richard Wren (Wren, 1997). Algoritma ini memodelkan setiap piksel *background* menurut distribusi normal yang digolongkan berdasarkan nilai rata-rata (μ) dan standart deviasi (σ) pada rentang warna *YUV*. Model ini membutuhkan beberapa frames untuk menghitung nilai rata-rata (μ) dan standart deviasi (σ) di masing-masing komponen warna:

$$\mu(x, y, t) = \sum_{i=1}^t \frac{p(x, y, i)}{t} \quad (2.12)$$

$$\sigma(x, y, t) = \left(\sum_{i=1}^t \frac{p^2(x, y, i)}{i} - \mu^2(x, y, t) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.13)$$

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:

$$|\mu(x, y, t) - P(x, y, t)| > c. \sigma(x, y, t) \quad (2.14)$$



Gambar 2.16. Alur proses dari *statistical model background subtraction*

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 2.17.

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 (Elfab, 2014).

2.4.2.2.2. Gaussian Mixture Model

Algoritma *Gaussian Mixture Model* pertama kali diperkenalkan oleh Stauffer dan Grimson. 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 (Stauffer, 1999). Adapun untuk mengambil nilai probabilitas di setiap pikselnya didapatkan melalui persamaan ini:

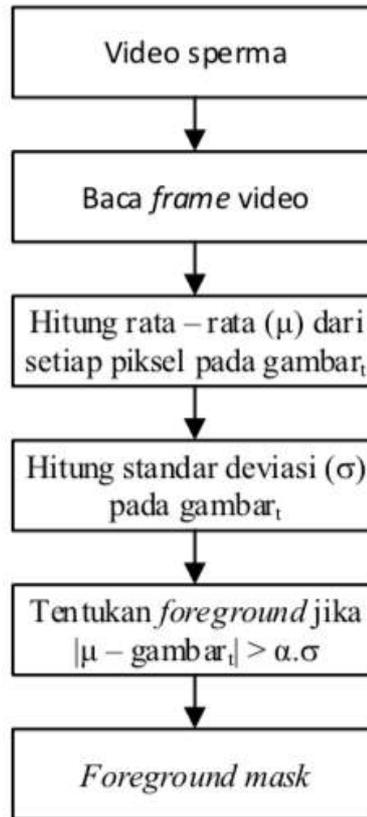
$$P(X_t) = \sum_{i=1}^k w_{i,t} \cdot \eta(x_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (2.15)$$

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-*mixture* Gaussian pada waktu t , dan η adalah *Probability Density Function* Gaussian, yang bisa ditulis sebagai berikut:

$$\eta(x_t | \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} |\Sigma_{i,t}|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{2}(x_t - \mu_{i,t})^T \Sigma_{i,t}^{-1} (x_t - \mu_{i,t})} \quad (2.16)$$

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 π adalah ukuran citra skalar X , maupun citra vektor X (RGB). Dengan jumlah nilai K antara 3 hingga 5. Dan *covariance* matriks didapatkan dari:

$$\Sigma_{i,t} = \sigma_i^2 I \quad (2.17)$$



Gambar 2.17 Alur diagram dari algoritma *Single Gaussian*

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

$$\mu_i - 2.5 \sigma_i < X_t < \mu_i + 2.5 \sigma_i \quad (2.18)$$

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 $\omega_{i,t}$ (*weight*), $\mu_{i,t}$ (*mean*), $\sigma_{i,t}^2$ (*variance*). *Update weight* dilakukan setiap saat:

$$\omega_{i,t} = (1 - \alpha)\omega_{i,t-1} + \alpha(M_{i,t}) \quad (2.19)$$

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:

$$\mu_{i,t} = (1 - \rho)\mu_{i,t-1} + \rho X_t \quad (2.20)$$

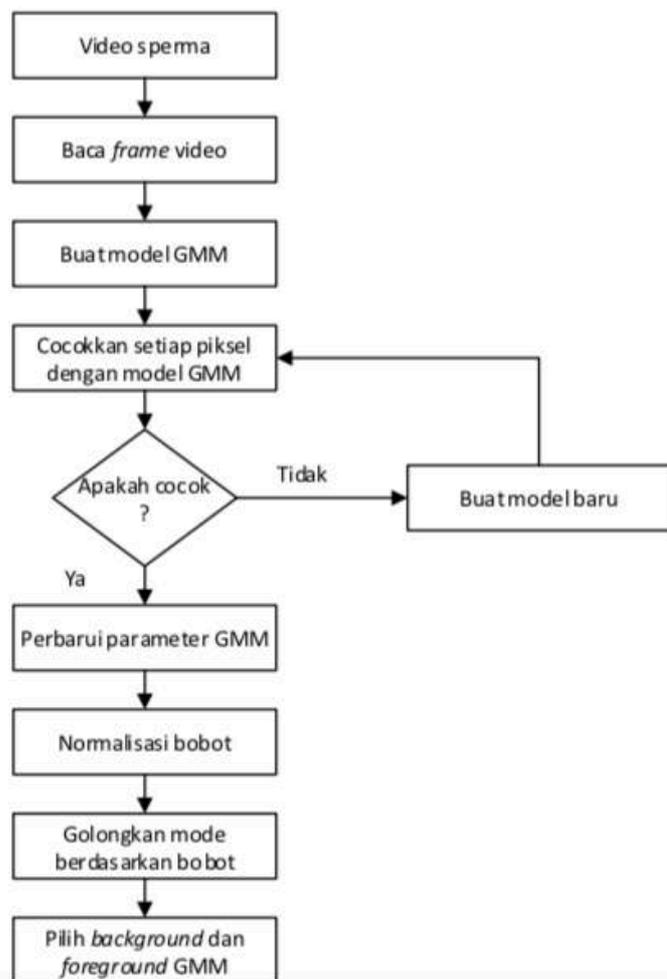
Update variance dilakukan jika dan hanya jika ada model yang cocok:

$$\sigma_{i,t}^2 = (1 - \rho)\sigma_{i,t-1}^2 + \rho(X_t - \mu_{i,t})^T (X_t - \mu_{i,t}) \quad (2.21)$$

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

$$B = \text{arg}_b \min \left(\sum_{j=1}^b w_j > T \right) \quad (2.22)$$

Alur dari algoritma GMM untuk proses *background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Alur diagram dari algoritma *Gaussian Mixture Model*

2.2.4.2.3. *Mixture Of Gaussian (MOG)*

Algoritma *Mixture of Gaussian* pertama kali diperkenalkan oleh Stauffer dan Grimson. Algoritma ini memodelkan setiap warna piksel *background* dengan Mixture K Gaussian, adapun untuk mengambil nilai probabilitas di setiap pikselnya didapatkan melalui persamaan ini untuk kasus multidimensi:

$$\Pr(x_t) = \sum_{j=1}^K \omega_j \cdot f_j(x_t; \mu_j, \Sigma_j) \quad (2.23)$$

$$\Pr(x_t) = \sum_{j=1}^K \pi_j \cdot \left(\frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma_j|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2}(x_t - \mu_j)^T \cdot \Sigma_j^{-1} (x_t - \mu_j)\right) \right) \quad (2.24)$$

Dimana, ω_j adalah bobot yang terkait dengan jth *Gaussian*, dengan rata-rata (*mean*) μ_j dan kovarian Σ_j , sesuai dengan proporsi waktu penampilan warna. Piksel cocok dengan *Gaussian* jika:

$$\text{sqrt}\left((x_t - \mu_j)^T \cdot \Sigma_j^{-1} (x_t - \mu_j)\right) < \delta \quad (2.25)$$

Untuk menangani multimodalitas, seperti adanya gerakan pada *background*: (Dalam hal ini, latar belakangnya adalah multimodal dan dinamis (Stauffer, 1999) (Elgammal, 2000)), Stauffer menggunakan sebagai kriteria rasio (*criterion the ratio*)

$r_j = \frac{\omega_j}{|\Sigma_j|^{1/2}}$, yang menganggap bahwa piksel *background* sesuai dengan bobot tinggi dengan varians lemah karena fakta bahwa *background* lebih banyak daripada objek bergerak dan nilainya praktis konstan. Deteksi *foreground* dibuat dengan menambahkan distribusi K berdasarkan r_j dan B *Gaussians* pertama yang melebihi jambang batas (*threshold*) tertentu T dipertahankan untuk *background*:

$$\arg \min_b \left(\frac{\sum_{i=1}^b \omega_{i,t}}{\sum_{i=1}^K \omega_{i,t}} > T \right) \quad (2.26)$$

2.4.2.2.4. Kernel Density Estimation

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

$$Pr(x_t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K(x_t - x_i) \quad (2.27)$$

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.

2.4.3. Morphologi Matematis

Penghilangan latar belakang dimaksudkan untuk membuang area-area dari citra yang bukan merupakan area spermatozoa. Tahapan ini bisa menggunakan apa yang dinamakan *attribute filtering* yang menerapkan metode-metode dari keluarga *mathematical morphology* seperti *dilation*, *erotion*, *opening* dan *closing*.

2.4.3.1. Dilasi

Merupakan operasi dasar dalam *morphology*. Misalkan A dan B adalah himpunan-himpunan piksel. Dilasi A oleh B dinotasikan dengan $A \square B$ dan didefinisikan sebagai berikut

$$A \square B = \bigcup_{x \in B} Ax \quad (2.28)$$

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

$$A \square B = \{(x, y) + (u, v) \mid (x, y) \in A, (u, v) \in B\} \quad (2.29)$$

Dilasi mempunyai hukum komutatif, yaitu

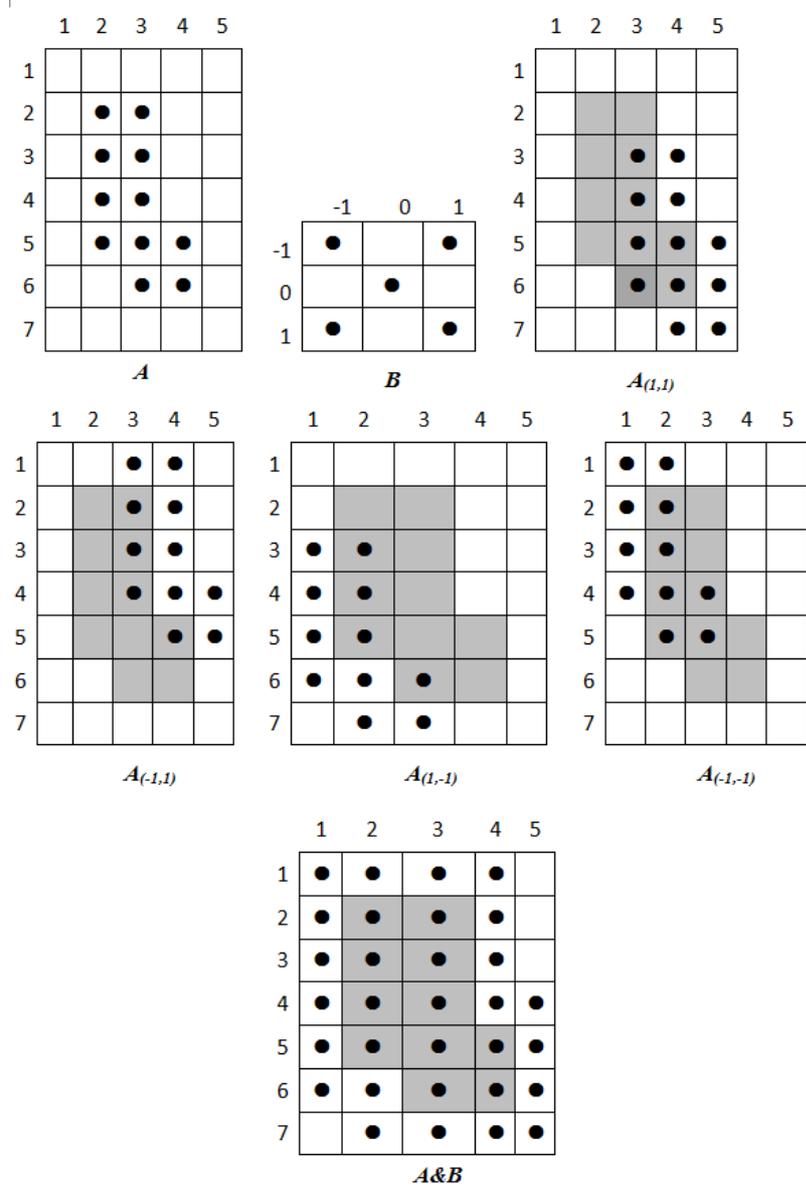
$$A \square B = B \square A \quad (2.30)$$

Gambar 2.19 menunjukkan contoh proses dan hasil dilasi. 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 $A \square B$ 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 .



Gambar 2.19. Ilustrasi proses Dilasi (Indah Susilawati, 2009)

Dilasi juga dikenal dengan sebutan *Minkowski addition*. Pada gambar 2.19, tampak bahwa dilasi mempunyai efek atau pengaruh memperbesar ukuran objek. Namun, objek asli tidak selalu berada di dalam $A \square B$, bergantung pada koordinat B .

Pada Gambar 2.20 maka $A \square B$ berada jauh dari A karena

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

Sehingga

$$A \oplus B = A_{(7,3)} \cup A_{(6,2)} \cup A_{(6,4)} \cup A_{(8,2)} \cup A_{(8,4)} \quad (2.31)$$

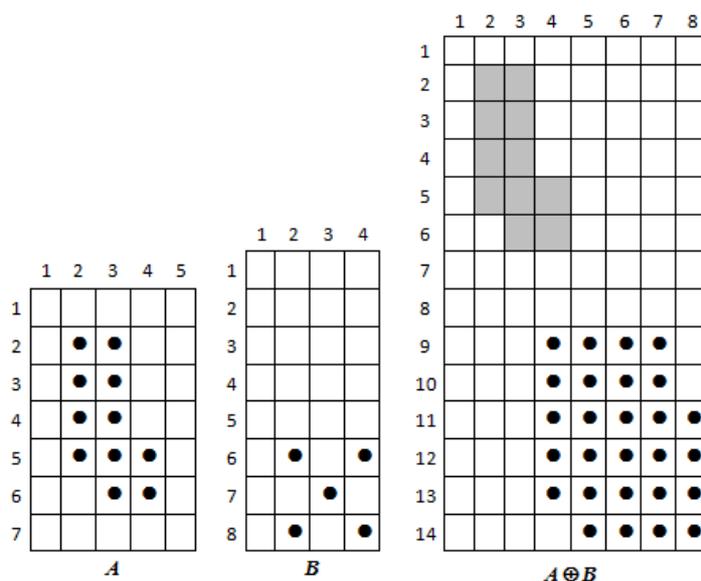
Untuk Dilasi maka pada umumnya diasumsikan bahwa A adalah citra yang akan diolah dan B adalah suatu himpunan piksel. Himpunan piksel B sering disebut *structuring element* atau *kernel*.

2.4.3.2. Erosi

Jika diketahui himpunan A dan B , maka erosi A oleh B (dinotasikan $A \ominus B$) didefinisikan sebagai

$$A \ominus B = \{\omega \mid B_\omega \subseteq A\} \quad (2.32)$$

Dengan kata lain, erosi A oleh B terdiri atas semua titik $\omega = (x, y)$ dimana B_ω ada di dalam himpunan A . Untuk melakukan erosi, B digeser-geser dalam A dan dicari dimana saja B bebar-benar ada di dalam A .

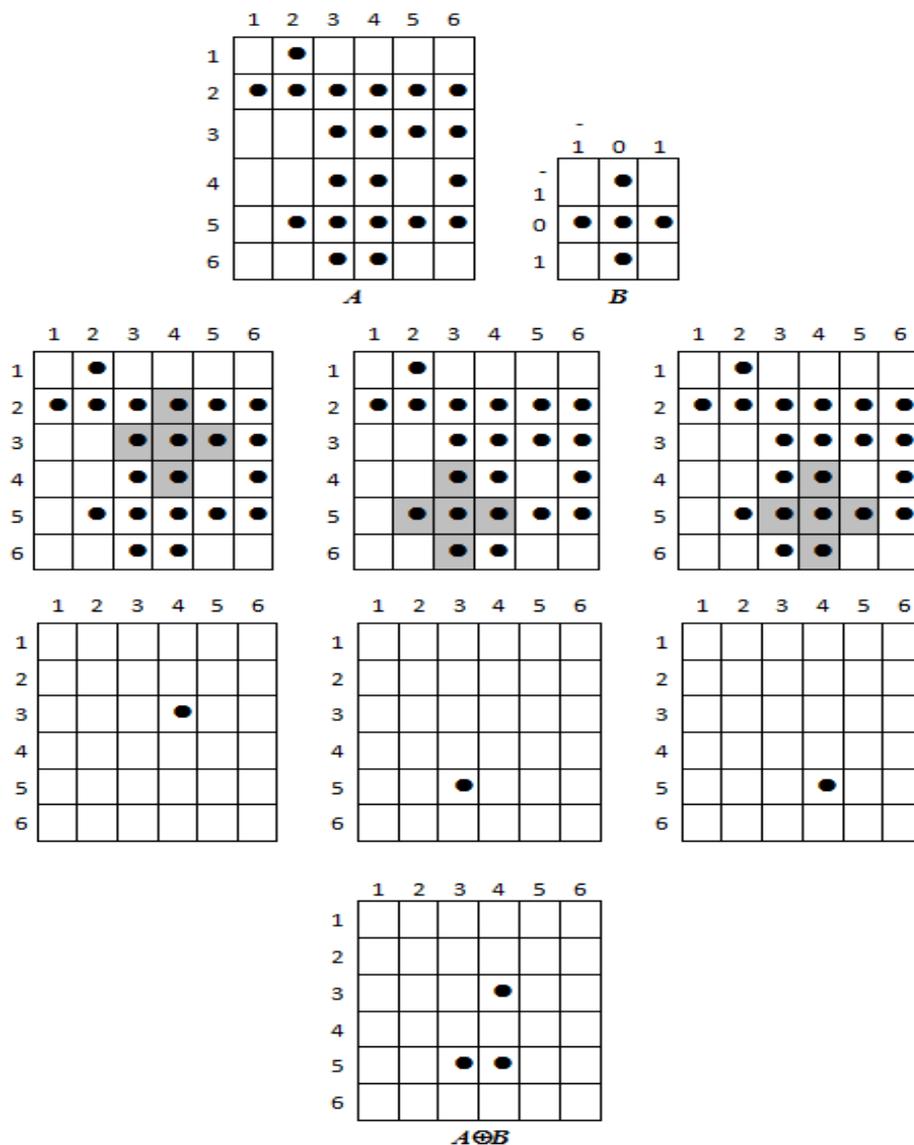


Gambar 2.20. Ilustrasi proses Dilasi (Indah Susilawati, 2009)

Untuk kondisi-kondidi yang memenuhi syarat tersebut maka tandailah titik (0,0) yang bersesuaian dengan B . Titik-titik ini yang merupakan hasil erosi A oleh B . Pada Gambar 2.21 berikut ditunjukkan erosi A oleh B .

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*. Erosi juga sering dihubungkan dengan *Minkowski subtraction* yang didefinisikan sebagai

$$A - B = \bigcap_{b \in B} A_b \quad (2.33)$$



Gambar 2.21. Ilustrasi proses Erosi A oleh B (Indah Susilawati, 2009)

2.4.3.3. Opening

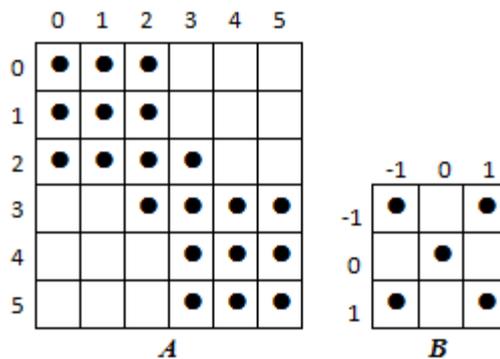
Merupakan operasi *morphology* yang dapat dikategorikan sebagai operasi level kedua dengan arti bahwa *opening* dan *closing* dibangun berdasarkan operasi dilasi dan erosi. Misalkan terdapat citra A dan *structuring element* B , maka *opening* A oleh B dinyatakan dengan notasi $A \circ B$ dan didefinisikan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

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.34)$$

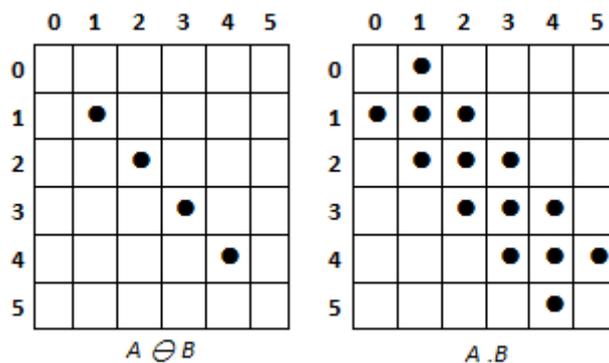
Sehingga operasi *opening* merupakan sebuah operasi yang terdiri atas operasi erosi diikuti oleh operasi dilasi. Definisi ekuivalennya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$A \circ B = \cup \{B_\omega : B_\omega \subseteq A\} \quad (2.35)$$

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 seperti terlihat pada Gambar 2.22. dan Gambar 2.23.



Gambar 2.22. Ilustrasi himpunan piksel A dan B (Indah Susilawati, 2009)



Gambar 2.23. Hasil erosi dan hasil opening citra A oleh B (Indah Susilawati, 2009)

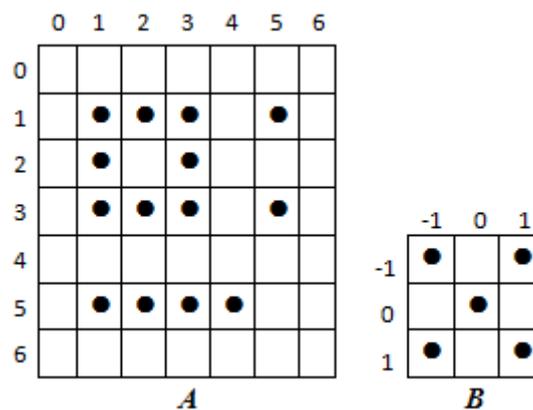
Operasi *opening* cenderung akan memperhalus objek pada citra, memutus sambungan yang sempit (*break narrow joins*), dan menghilangkan efek pelebaran pada objek (*remove protrusions*).

2.4.3.4. *Closing*

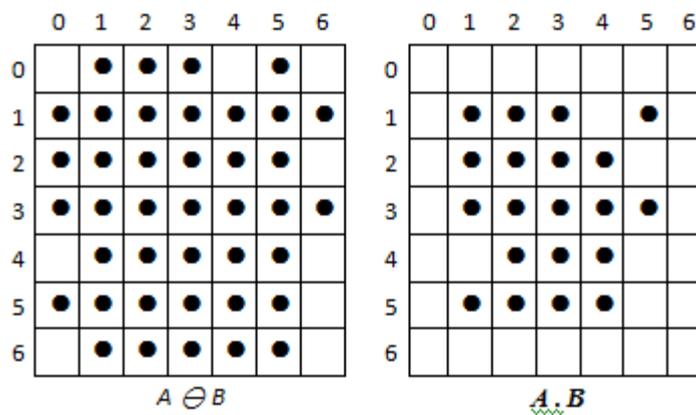
Closing didefinisikan sebagai operasi dilasi yang dilanjutkan dengan operasi erosi (contoh seperti Gambar 2.24 dan Gambar 2.25), dinotasikan sebagai $A \bullet B$, sehingga dapat dinyatakan

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (2.36)$$

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.



Gambar 2.24 Himpunan piksel A dan B (Indah Susilawati, 2009)



Gambar 2.25. Hasil proses *Closing* (Indah Susilawati, 2009)

2.4.3.5. 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.

$$((A \ominus B) \oplus B) \oplus B \quad (2.37)$$

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.

$$(((A \ominus B) \oplus B) \oplus B) \ominus B \quad (2.38)$$

Operasi tersebut juga dapat dinyatakan sebagai berikut

$$(A \circ B) \cdot B \quad (2.39)$$

2.4.4. Segmentasi Otsu Thresholding

Thresholding citra merupakan suatu teknik yang banyak digunakan untuk segmentasi, yaitu membagi citra *gray level* ke segmen yang sesuai untuk beberapa kelas berdasarkan nilai *gray level*. Pendekatan *thresholding* kebanyakan diusulkan untuk dua kelas, dan didasarkan pada histogram *gray level* dari citra. Dua dari tujuh pendekatan yang paling populer adalah metode Otsu (Otsu, 1979) dan *Minimum Error Thresholding / MET* (Kittler dan Illingworth, 1986). Seperti yang telah disurvei (Han Si-qi, 2002), tidak terdapat perbedaan hasil yang signifikan di antara dua metode tersebut.

Dalam penelitian ini *thresholding* tidak digunakan untuk segmentasi citra sebagai tujuan akhir, tetapi sebagai titik acuan dalam memaksimalkan kontras untuk pembedaan *background* dan *foreground* sebesar-besarnya. Maka pemilihan di antara kedua metode tersebut tidak berdampak penting.

Threshold membagi area ke dalam dua kelas sebagai berikut :

$$g(a,b) = \begin{cases} 0 & , f(a,b) < T \\ 1 & , f(a,b) \geq T \end{cases} \quad (2.40)$$

dengan :

$g(a,b)$ = nilai piksel citra hasil *thresholding*, yang berisi 0 atau 1

T = nilai *threshold*

Tujuan dari metode Otsu adalah untuk menemukan titik *threshold* yang membagi histogram citra *gray level* ke dalam dua daerah yang berbeda secara otomatis, di mana titik yang dipilih adalah sedemikian sehingga *inter-class variance* adalah sebesar mungkin. Tujuan tersebut dicapai dengan meminimalkan bobot *within-class variance*, yang sebenarnya adalah sama dengan memaksimalkan *inter-class variance*.

Bobot dari *within-class variance* adalah :

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t) \quad (2.41)$$

dengan :

$\sigma_w^2(t)$ = total *within-class variance*

$\sigma_1^2(t)$ = total *within-class variance* dari kelas pertama

$\sigma_2^2(t)$ = total *within-class variance* dari kelas kedua

$q_1(t)$ = *class probabilities* dari kelas pertama

$q_2(t)$ = *class probabilities* dari kelas kedua

t = nilai *gray level* yaitu nilai *threshold*

Class probabilities dari kelas pertama dan kedua adalah (di mana i mewakili jumlah kemunculan piksel untuk *gray-level* tertentu, sedangkan t adalah nilai *gray level*) :

$$q_1(t) = \sum_{j=1}^t P(j) \quad (2.42)$$

$$q_2(t) = \sum_{j=t+1}^l P(j) \quad (2.43)$$

dengan :

$P(j)$ = kemungkinan kemunculan nilai *gray level* tertentu

j = nilai *gray level*

- t = nilai *threshold*
 l = batas akhir kelas kedua

Nilai rata-rata dari masing-masing kelas adalah :

$$\mu_1(t) = \sum_{j=1}^t \frac{jP(j)}{q_1(t)} \quad (2.44)$$

$$\mu_2(t) = \sum_{j=t+1}^l \frac{jP(j)}{q_2(t)} \quad (2.45)$$

dengan :

$\mu_1(t)$ = nilai rata-rata kelas pertama

$\mu_2(t)$ = nilai rata-rata kelas kedua

2.4.5. Representasi Tepian

Hasil dari tahapan segmentasi bisa berupa area atau keliling (*boundary*). Untuk pemrosesan lebih lanjut, hasil segmentasi perlu direpresentasikan sebagai *boundary* dan *boundary* ini direpresentasikan dengan beberapa metode representasi citra. Salah satu metode representasi yang sudah dipilih adalah kode arah (*freeman code* atau *chain code*), *signature* atau *fourier descriptor*.

2.4.6. Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur merupakan proses mendefinisikan seperangkat fitur atau karakteristik gambar yang paling efisien atau sangat bermakna yang mampu mewakili informasi penting untuk analisis dan klasifikasi. Hasilnya adalah parameter- parameter penentu kelainan bentuk.

2.4.7. Klasifikasi

Tahap terakhir adalah tahapan klasifikasi untuk menentukan apakah bentuk spermatozoa tergolong normal atau tidak. Berdasarkan fitur-fitur yang berhasil diekstrak, dilakukan proses klasifikasi. Klasifikasi menggunakan dua tahapan yaitu tahapan training untuk melatih mesin klasifikasi untuk mengenali berbagai macam bentuk tidak normal spermatozoa, dan tahap pengujian atau testing untuk menguji

mesin klasifikasi. Metode klasifikasi yang nantinya sudah dicoba adalah *support vector machine (SVM)* dan *K-Nearest Neighbor (K-NN)*

2.4.7.1. Klasifikasi Morfologi Spermatozoa dengan Analisis BLOB

Klasifikasi BLOB menggunakan *Weighted Euclidean Distance* ditulis dengan Persamaan (2.46) (Moeslund, 2012):

$$WED(\vec{f_i}, prototype) = \sqrt{\frac{(f_i(cir) - mean(cir))^2}{variance(cir)} + \frac{(f_i(area) - mean(area))^2}{variance(area)}} \quad (2.46)$$

Dimana: $WED(\vec{f_i}, prototype)$ adalah bobot *euclidian distance* antara vektor fitur $\vec{f_i}$ misalnya BLOB pertama dan *prototype* (bentuk dasar). $f_i(cir)$ dan $f_i(area)$ adalah *circularity* dan area adalah BLOB pertama, berturut fiturut. Letak parameter pada persamaan adalah rata-rata dan selisih dua fitur pada *prototype*. Pada kasus umum dengan perbedaan fitur p bobot, *euclidian distance* didefinisikan dengan persamaan (3.23)

$$WED(\vec{f_i}, prototype) = \sum_{j=1}^p \sqrt{\frac{(f_i(m_j) - mean(m_j))^2}{variance(m_j)}} \quad (2.47)$$

Dimana: m_j dan urutan ke fitur j . apabila semua selisih semua fitur adalah sama, kemudian bisa diabaikan dan diakhiri dengan ukuran *Euclidian distance*. Dimana penentuan daerah adalah lingkaran 2 dimensi.

$$WED(\vec{f_i}, prototype) = \sum_{j=1}^p \sqrt{(f_i(m_j) - mean(m_j))^2} \quad (2.48)$$

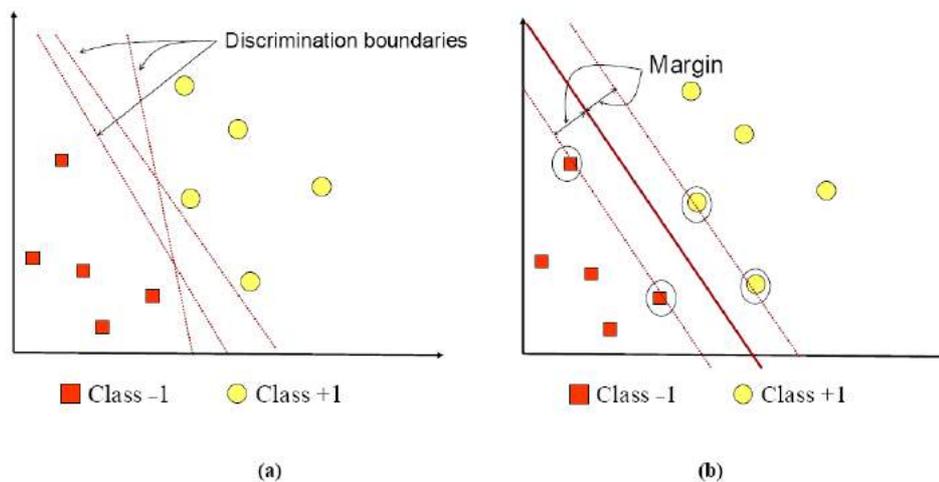
2.4.7.2. Klasifikasi Morfologi Spermatozoa dengan Metode *Support Vector Machine (SVM)*

Support Vector Machine (SVM) merupakan salah satu metode klasifikasi jenis terpandu (*supervised*) karena ketika proses pelatihan diperlukan target pembelajaran tertentu. Hal ini berbeda dengan *Fuzzy C-Means (FCM)* dimana dalam proses klasifikasi tidak membutuhkan target pelatihan (Prabowo, 2013).

Konsep metode *SVM* secara sederhana sebagai usaha mencari *hyper-plane* terbaik yang berfungsi sebagai pemisah dua buah kelas pada *input space*. Gambar 2.26.(a) memperlihatkan beberapa *pattern* yang merupakan anggota dari dua buah

kelas: +1 dan {1. *Pattern* yang tergabung pada kelas {1 disimbolkan dengan warna merah (kotak), sedangkan *pattern* pada kelas +1, disimbolkan dengan warna kuning (lingkaran).

Permasalahan klasifikasi dapat didefinisikan dengan usaha menemukan garis (*hyperplane*) yang memisahkan antara kedua kelompok tersebut. *Hyperplane* pemisah terbaik antara kedua kelas dapat ditemukan dengan mengukur margin *hyperplane* tersebut dan mencari titik maksimalnya. Margin adalah jarak antara *hyperplane* tersebut dengan *pattern* terdekat dari masing-masing kelas. *Pattern* yang paling dekat disebut sebagai *support vector*. Garis solid pada Gambar 2.26.(b) menunjukkan *hyperplane* yang terbaik, yaitu yang terletak tepat pada tengah-tengah kedua kelas, sedangkan titik merah dan kuning yang berada dalam lingkaran hitam merupakan *support vector*. Usaha untuk mencari lokasi *hyperplane* ini merupakan inti dari proses pembelajaran pada *SVM* (Nugroho, 2003).



Gambar 2.26. SVM Berusaha Menemukan *Hyperplane* Terbaik Yang Memisahkan Kedua *Class -1* Dan +1

Tugas klasifikasi terdiri dalam mencari pembatas keputusan yang memisahkan data ke dalam masing-masing kelas. Masalah keputusan yang sederhana terdiri sejumlah vektor dibagi menjadi dua kelas, dan keputusan yang optimal akan menjadi salah satu yang memaksimalkan jarak dari garis pembatas ke data. (Gil-Jimenez, 2012). Dalam kasus yang sederhana, fungsi keputusan memiliki bentuk seperti Persamaan (2.49)

$$f(x) = \sum_{a=1}^L \alpha_i p_i (y_i \cdot x) + b \quad (2.49)$$

Dimana: x adalah vektor masukan, dalam kasus ini, spermatozoa diklasifikasikan, dan p_i mengambil +1 ketika vektor i milik satu kelas, dan -1 ke kelas yang lain. Selain itu, produk utama dilakukan antara masing-masing pelatihan masukan y_i , dan vektor input x . Dengan demikian, satu set data *training* (y, p) diperlukan dalam rangka membangun fungsi klasifikasi. Selain itu, α_i adalah *Lagrange multipliers*, diperoleh melalui proses minimalisasi, dan L adalah jumlah vektor y , selama proses pelatihan, memberikan kontribusi untuk membentuk batas keputusan. Vektor ini adalah dengan tidak sama dengan nol, dan dikenal sebagai *support vector*. Dalam rangka meningkatkan kinerja ketika vektor tidak linear terpisah, *SVM* memetakan input data ke dalam ruang fitur dimensi yang lebih tinggi, dengan menggunakan *Kernel Trick*. Dalam hal ini, persamaan non-linear untuk fungsi klasifikasi menjadi seperti Persamaan (2.50).

$$f(x) = \sum_{a=1}^L \alpha_i p_i K(y_i \cdot x) + b \quad (2.50)$$

Dimana K adalah kernel yang melakukan pemetaan *non-linear*. Ada beberapa kernel yang digunakan dalam *SVM* yaitu *Linear*, *Radial Basis Functions*, *Polynomial*, *Sigmoid* dan *Invers Multi Quadratic*.

Karakteristik *SVM* yaitu (Prasetyo, 2012):

1. *SVM* bisa dikatakan metode klasifikasi semi eager learner karena selain memerlukan proses pelatihan, juga menyimpan sebagian data latih untuk digunakan kembali pada saat prediksi. sebagian data yang disimpan tersebut adalah *support vector*
2. *SVM* memberikan model klasifikasi yang solusinya global optimal.
3. Proses pelatihan *SVM* yang dilakukan tidak sebanyak *ANN*.
4. *SVM* membutuhkan komputasi pelatihan dan prediksi rumit karena dimensi data yang digunakan untuk pelatihan dan prediksi lebih besar dari pada data yang sesungguhnya. Hal ini berbeda dengan metode yang lain yang pada

umumnya mengurangi dimensi data untuk memberikan kinerja yang lebih cepat dan akurasi yang lebih baik.

5. Untuk set data berjumlah besar, *SVM* membutuhkan memori besar untuk alokasi matrik kernel yang digunakan
6. Penggunaan matriks kernel mempunyai keuntungan yaitu kinerja set data dengan dimensi besar tetapi jumlah datanya sedikit akan lebih cepat karena ukuran data pada dimensi baru berkurang banyak. Misalnya, data latih berukuran 10 data 1000 kolom fitur akan berubah menjadi matriks kernel yang berukuran 10x10.

2.4.7.3. Fitur Klasifikasi Morfologi Spermatozoa dengan Metode *Support Vector Machine (SVM)*

Metode klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *SVM*. Pada klasifikasi terdapat proses pelatihan (*training*) dan pengujian (*testing*). Algoritma pelatihan untuk masing-masing pengklasifikasi *SVM* biner dapat berupa data inputan berupa matrik B (matrik hasil ekstraksi fitur pelatihan) dan vektor Y sebagai pasangan masukan target dan keluarannya adalah support vector (x), weight (w), dan bias (b).

Pelatihan (training) *SVM* dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan data inputan yang digunakan (Z) dan target (Y) sebagai pasangan pelatihan dari dua kelas.
2. Menghitung *Kernel* (Linear) $K(x, y) = x \cdot y$
3. Menghitung Matrik *Hessian*: $H = K(Z, Z_i) Y * Y^T$
4. Menentukan c dan *epsilon*
5. Menentukan vektor e sebagai vektor satuan yang memiliki dimensi sama dengan dimensi Y .
6. Menghitung solusi *quadratic programming* dengan Persamaan 2.51:

$$\text{Min}L(\alpha) = \frac{1}{2} \alpha^T H \alpha - e^T \alpha, \text{ dimana } y^T \alpha = 0 \text{ dan } 0 \leq \alpha \leq c \quad (2.51)$$

Inputan matrik Z merupakan matrik fitur yang dihasilkan pada proses ekstraksi fitur dan vektor Y sebagai target. Fungsi *quadratic programming monqp* memerlukan variabel c dan *epsilon*. Untuk itu tetapkan nilai c (c adalah batas atas nilai α) dan *epsilon*. Vektor satuan e juga dibentuk dengan dimensi sama dengan

vektor Y . Penyelesaian $MinL(\alpha) = \frac{1}{2} \alpha^T H \alpha$ dengan *quadratic programming*, merupakan implementasi dari pencarian solusi atas permasalahan $\min \frac{1}{2} |w|^2 + C(\sum_{i=1}^n \xi_i)$ Jika diimplementasikan dalam bentuk matrik menjadi $\min \frac{1}{2} w^T w + C(\sum_{i=1}^n \xi_i)$ dengan $y \frac{T}{i} (w^T \xi_i \square (x_i) + b) 1 - \xi_i$. Jika formula dalam bentuk matrik tersebut diubah kedalam bentuk dual problem, maka formula tersebut menjadi $MinL(\alpha) = \frac{1}{2} \alpha^T H \alpha - e^T \alpha$ dimana $y^T \alpha = 0$ dan $0 \leq \alpha \leq C$. Di sini $H = y_i y_j K(x_i x_j)$ dan e adalah vektor satuan yang dimensi sama dengan Y , sedangkan $c > 0$ adalah batas atas dari α . Hasil dari fungsi *monqp (quadratic programming)* adalah nilai variable w, x dan b yang nantinya akan digunakan dalam proses pengujian. Setelah pada proses pelatihan dilakukan maka didapatkan nilai variabe w, x , dan b untuk masing-masing kelas. Nilai variabel w, x dan b untuk didefinisikan sebagai vektor w, x , dan b . Untuk input data yang akan diklasifikasikan adalah matrik fitur D yang dihasilkan pada proses ekstraksi fitur pengujian. Matrik ciri D tersebut ditransformasikan dulu kedalam bentuk vektor menjadi $1 \times (\ell_1 \times \ell_2)$ diberi nama T . Pengujian klasifikasi *SVM* dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan data inputan: vektor T (data pengujian), vektor w, x, b , dan k (jumlah kelas).
2. Menghitung Kernel. Dalam penelitian ini menggunakan fungsi kernel linear ($K(x, y) = x \cdot y$)
3. Menghitung $f_i = K(T, x_i)w_1 + b_1$.
4. Mengulangi tahapan yang ke- 2 dan ke-3 untuk $I = 2$ sampai k
5. Menentukan nilai f_i yang terbesar (maksimal)
6. Kelas i dengan f_i terbesar merupakan kelas dari vektor T . Nilai T adalah transformasi matrik ciri D ke dalam bentuk vektor. Tahap berikutnya adalah dengan menghitung kernel. T merupakan data input dan x_i adalah *support vector* yang dihasilkan pada proses pelatihan *SVM*.

Fungsi keputusan $f_i = K(T, x_i)w_1 + b_1$ dihitung untuk masing masing nilai i , dimana $i = 1$ sampai k (k adalah jumlah kelas). Output dari algoritma ini berupa indeks i dengan f_i terbesar yang merupakan kelas dari vektor T .

2.4.7.4. Klasifikasi Morfologi Spermatozoa dengan Metode *K-Nearest Neighbour* (*K-NN*)

K-NN merupakan algoritma yang melakukan klasifikasi berdasarkan kedekatan lokasi atau jarak suatu data dengan data yang lain (Prasetyo, 2012). Contoh prinsip sederhana dari algoritma *K-NN* yaitu jika suatu hewan berjalan seperti bebek, bersuara seperti bebek, penampilan seperti bebek, maka hewan itu kemungkinan bebek. Pada algoritma *K-NN*, data berdimensi q , jarak data tersebut ke data lain dapat dihitung. Nilai jarak inilah yang digunakan sebagai nilai kedekatan atau kemiripan antara data pengujian dengan data pelatihan. Parameter-parameter yang digunakan adalah *K-NN* adalah *sample*, *training*, *group*, *k*, *distance* dan *rule*.

1. *Sample* yaitu matrik dimana baris merupakan data, kolom merupakan fitur. *Sample* merupakan data uji yang akan diklasifikasikan ke dalam kelas. Matrik *sample* harus mempunyai jumlah kolom (fitur) yang sama dengan matrik *training*.
2. *Training* yaitu matrik yang digunakan untuk mengelompokkan baris di dalam matrik *sample*. Matrik *training* harus mempunyai jumlah kolom yang sama dengan matrik *sample*. Setiap baris dalam matrik *training* mempunyai relasi kelas pada baris yang sama di matrik *group*.
3. *Group* yaitu vektor (matrik 1 kolom) yang setiap barisnya menyatakan kelas dari baris yang sama dalam matrik *training*.
4. Parameter *k*, *k* merupakan jumlah tetangga terdekat yang digunakan untuk klasifikasi. Nilai defaultnya adalah 1.
5. *Distance* adalah *String* yang menyatakan matrik jarak yang digunakan untuk mencari tetangga terdekat. Pilihannya: *'euclidean'* yaitu jarak *euclidean* (*default*), *'cityblock'*, yaitu jarak Manhattam atau jumlah absolut perbedaan nilai antar fitur, *'cosine'* yaitu jarak-cos (sudut antara dua titik), *'correlation'* yaitu jarak 1 {korelasi di antara titik (nilai sekuen), dan *'hamming'* yaitu jarak persentase bit yang berbeda (cocok untuk data biner).
6. *Rule* yaitu string untuk menetapkan aturan dalam memutuskan bagaimana mengklasifikasikan *sample*. Mempunyai pilihan berupa *'nearest'*, yaitu aturan mayoritas pada titik terdekat (*default*), *'random'* yaitu aturan mayoritas pada titik secara acak. *'Consensus'* yaitu aturan kesepakatan

2.4.7.5. Fitur Klasifikasi *K-Nearest Neighbour (K-NN)*

Algoritma *K-NN* adalah algoritma yang sederhana dari semua Pattern Recognition. *K-NN* merupakan algoritma yang melakukan klasifikasi berdasarkan kedekatan lokasi atau jarak suatu data dengan data yang lain (Prasetyo, 2012).

Algoritma *K-NN*:

1. $z = (x', y')$ adalah data uji dengan vektor x' dan label kelas y' yang belum diketahui.
2. Menghitung jarak $d(x', x)$, jarak di antara data uji z ke setiap vector data latih. Simpan dalam D .
3. Pilih $D_z \subseteq D$ yaitu k tetangga dari z .
4. Menghitung

$$y' = \arg \max \sum (x_i, y_i) \in D_x w_i \times I(u = y_i) \quad (2.52)$$

Dimana $\arg \max$ merupakan argumen maksimum, v merupakan kelas data yang masuk ke dalam kelas y_i

2.5. Fitur-Fitur Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Dengan Regresi Linear

2.5.1. Fitur *Background Reconstruction*

Untuk mengidentifikasi sperma yang bergerak, diperlukan kemampuan sistem untuk memisahkan *background* dan *foreground* yang berupa *spermatozoa* yang bergerak. Menggunakan *background* yang didapat dengan cara melakukan pemindaian ketika tidak ada sperma yang bergerak. Penggunaan *background* dengan cara seperti ini menimbulkan 2 kesulitan besar, kesulitan pertama adalah proses mendapatkan *background*. Hal ini tentu sangat menyulitkan karena sukar sekali memperoleh kondisi dengan tidak ada sperma yang bergerak atau tidak ada sperma sama sekali, tidak mungkin dilakukan pemberhentian semua sperma untuk mendapatkan *background* yang diinginkan. Kesulitan kedua adalah ketidak tepatan *background* yang diperoleh dengan kondisi *real-time* saat itu. Jika *background* didapatkan pada satu lokasi pengamatan, kemudian *background* tersebut digunakan untuk mendeteksi sperma pada lokasi lain maka akan timbul permasalahan diakibatkan oleh ketidak samaan *background* dengan kondisi *real-time* saat itu diakibatkan oleh perbedaan kondisi lokasi.

Metode sederhana *untuk* mendapatkan *background* dengan cara rekonstruksi dari serangkaian gambar bergerak dapat dilakukan dengan menggunakan *TABI (time-*

averaged background image). Metode ini sudah banyak dipakai oleh peneliti sebelumnya. Metode ini akan menghasilkan gambar *background* yang merupakan pendekatan dengan cara mendapatkan rata-rata nilai piksel gambar berdasarkan serangkaian *frame* dari serangkaian gambar.

Misalkan (I_1, I_2, \dots, I_m) merupakan serangkaian gambar bergerak, dipilih sejumlah *frame* dengan jumlah n *frame* dari total m *frame* dan disimbolkan dengan $(f_1, f_2, f_3, \dots, f_n)$. $f_i(a, b)$ merepresentasikan nilai piksel dari *frame* ke i dengan $i = 1, 2, \dots, n$. Maka dapat diperoleh nilai rata-rata tiap-tiap piksel dengan rumusan pada Persamaan (2.53).

$$\bar{F}(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n f_i(a, b)}{n} \quad (2.53)$$

dengan :

$\bar{F}(a, b)$ = nilai rata-rata tiap piksel

$f_i(a, b)$ = nilai piksel dari *frame* ke i

(a, b) = koordinat titik, a sebagai komponen mendatar dan b sebagai komponen tegak

n = jumlah data

i = 1, 2, 3, ... n

Langkah-langkah untuk mendapatkan *background* dengan memisahkan dari *foreground* berdasarkan video sperma dapat dijelaskan sebagai berikut : **Langkah ke-1**, Ekstraksi Video (Video diekstrak untuk mendapatkan *frame-frame* dari video tersebut), misalkan (I_1, I_2, \dots, I_m) merupakan serangkaian gambar bergerak, dipilih sejumlah *frame* dengan jumlah N *frame* dari total m *frame* dan disimbolkan dengan $(f_1, f_2, f_3, \dots, f_n)$ dan **Langkah ke-2**, Memperoleh *frame* hasil rata-rata *frame* video *Frame* hasil ekstraksi dipilih, $f_i(x, y)$ merepresentasikan nilai fixel dari fram eke i dengan $i = 0, 1, 2, \dots, N$. kemudian diambil nilai rata-rata per pixel menggunakan Persamaan 5.5. *Frame* yang dipilih dapat berupa semua *frame* ataupun *frame* tertentu berdasarkan selang yang diinginkan.

2.5.2. Fitur *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 (WHO, 2012). 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. Tantangan yang dihadapi adalah terdapat objek *background* yang bergerak dan adanya objek baru yang dianggap sebagai *background*. Masukan dari proses *background subtraction* adalah *frame* video yang telah di *preprocessing* dan luarannya merupakan gambar biner yang merepresentasikan objek (sperma) yang bergerak pada video. Pada penelitian ini diaplikasikan algoritma *Frame Difference background subtraction* (Hongpeng, 2011).

2.5.3. Morphological Filtering

Fitur dari citra yang telah diperoleh dari proses segmentasi biasanya masih terdapat *noise*, hal ini diakibatkan dari objek yang tidak diinginkan ikut tersegmentasi. Untuk menghilangkan *noise* tersebut digunakan metode *morphological filtering* (Girod, 2012) dengan proses pertama adalah membuang objek yang mempunyai piksel kurang dari 400 piksel. Untuk objek yang mempunyai piksel lebih dari 400 dipertahankan. Proses yang kedua adalah membuat objek menjadi lebih halus dengan cara menutup celah-celah kecil dari objek. Proses ini menggunakan teknik operasi *morfologi* citra, dimana citra yang diperoleh masih perlu dihaluskan garis tepinya menggunakan teknik *closing*. *Closing* merupakan operasi *morfologi* yang dapat dikategorikan sebagai operasi level kedua dengan arti bahwa *closing* didefinisikan sebagai operasi *dilasi* yang dilanjutkan dengan operasi erosi, Pada operasi *closing* cenderung memperhalus objek pada citra dengan cara menyambung pecahan-pecahandan menghilangkan lubang-lubang kecil pada objek.

2.5.4. Labeling Objek Dan Menghitung Koordinat Titik Pusat Objek

Setelah citra diperbaiki dengan proses *filtering*, berikutnya citra tersebut dicari batasnya menggunakan metode deteksi bidang batas (*boundary detection*)

(Nikam, 2013) untuk masing-masing objek serta dilabeli untuk setiap objek yang ditemukan. Dari masing-masing objek yang ditemukan, kemudian dicari koordinat titik pusat dari objek (x_b, y_b) tersebut menggunakan Persamaan 2.54.

$$x_b = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad y_b = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.54.)$$

dengan : A_i adalah luasan piksel di titik (x_i, y_i)

n adalah jumlah piksel

Pada penelitian ini luasan piksel A_i besarnya 1 satuan, maka persamaan 1 menjadi :

$$x_b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad y_b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (2.55.)$$

2.55. Regresi Linier Lintasan Spermatozoa

Proses penjejakan *spermatozoa* selama satu sekuen pada ruang pandang yang statis akan menghasilkan nilai-nilai posisi dua dimensi penggambaran motilitasnya. Untuk dapat mengetahui bentuk gerakan dari *spermatozoa*, maka diperlukan suatu garis uji yang diambil dari regresi linier (Lalis, 2017) kumpulan nilai posisi *spermatozoa*.

$$y = a + bx \text{ atau } y = mx + b \quad (2.56)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (2.57)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.58)$$

Dengan n adalah jumlah data, x adalah posisi penanda sumbu x , y adalah posisi penanda sumbu y . Garis regresi linier $y = a + bx$ melewati kumpulan nilai posisi

motilitas *spermatozoa* dan diukur jaraknya terhadap posisi motilitas *spermatozoa* selama satu sekuen.

2.5.6. Root Mean Square (RMS)

Untuk melihat apakah rata-rata posisi motilitas *spermatozoa* berada di garis linier maka perlu dicari nilai *RMS*, yang membandingkan nilai prediksi (garis regresi linier). dan posisi motilitas *spermatozoa* selama satu sekuen. Jika diberikan satu set data sebanyak n yakni $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ maka nilai *RMS*nya adalah

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2} \quad (2.59)$$

dengan :

RMS = nilai rata-rata jarak posisi spermatozoa terhadap garis regresi linier

r = jarak posisi *spermatozoa* terhadap garis regresi linier

n = jumlah data

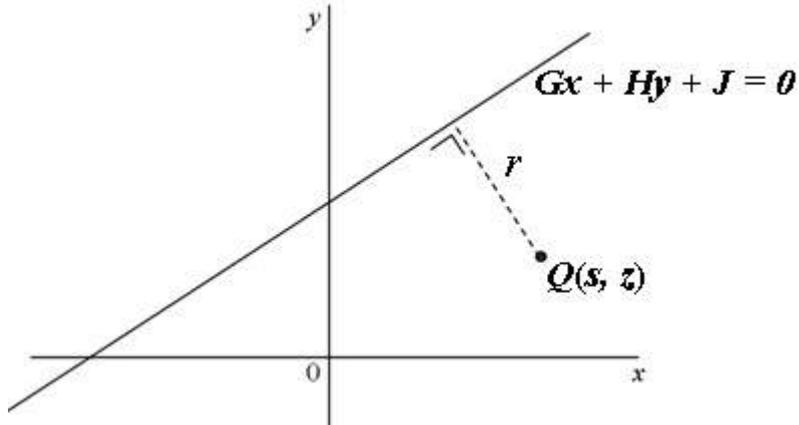
Pada Gambar 2.27. memperlihatkan ilustrasi untuk menghitung nilai r yaitu jarak antara titik $Q(s, z)$ dengan sebuah persamaan garis. Untuk mendapatkan persamaan garis $Gx + Hy + J = 0$ digunakan persamaan berikut :

$$Gx + Hy + J = 0 \quad (2.60)$$

$$G = n \sum_{i=1}^n h_i k_i - \sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n k_i \quad (2.61)$$

$$H = \left(\sum_{i=1}^n h_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n k_i^2 \quad (2.62)$$

$$J = \sum_{i=1}^n h_i^2 \sum_{i=1}^n k_i - \sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n h_i k_i \quad (2.63)$$



Gambar 2.27. Ilustrasi menentukan jarak titik terhadap persamaan garis

Pada Gambar 2.27. memperlihatkan ilustrasi untuk menghitung nilai r yaitu jarak antara titik $Q(s, z)$ dengan sebuah persamaan garis. Untuk mendapatkan persamaan garis $Gx + Hy + J = 0$ digunakan persamaan berikut :

$$Gx + Hy + J = 0 \quad (2.64)$$

$$G = n \sum_{i=1}^n h_i k_i - \sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n k_i \quad (2.65)$$

$$H = \left(\sum_{i=1}^n h_i \right)^2 - n \sum_{i=1}^n k_i^2 \quad (2.66)$$

$$J = \sum_{i=1}^n h_i^2 \sum_{i=1}^n k_i - \sum_{i=1}^n h_i \sum_{i=1}^n h_i k_i \quad (2.67)$$

Untuk menghitung nilai jarak r antara titik $Q(s, z)$ dengan garis $Gx + Hy + J = 0$ digunakan persamaan berikut ini

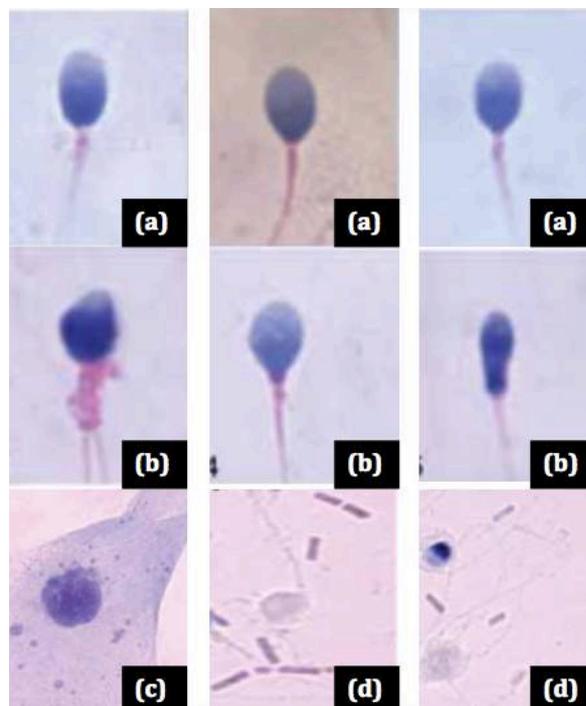
$$r = \frac{|Gs + Hz + J|}{\sqrt{G^2 + H^2}} \quad (2.68)$$

BAB 3

PENENTUAN ABNORMALITAS MORFOLOGI SPERMATOZOA

3.1. Fitur-fitur Morfologi Spermatozoa

Proses manual yang dilakukan oleh ahli dalam analisis spermatozoa, menyita banyak waktu dan tenaga (Alias, 2011). Di laboratorium analisis spermatozoa ditentukan secara acak dalam setiap layang pandang mikroskop. Setiap layang pandang diperoleh informasi jumlah tertentu spermatozoa normal dan abnormal secara acak. Hasil yang diperoleh dalam setiap layang pandang kemudian dijumlah dan dirata-rata, sehingga diperoleh informasi persentase spermatozoa normal dan abnormal dari setiap sediaan sampel. Metode konvensional ini akan menimbulkan perbedaan hasil pengukuran jika dilakukan oleh ahli yang berbeda, karena perhitungan spermatozoa normal dan abnormal dilakukan secara acak. Contoh spermatozoa manusia normal dan abnormal serta bukan spermatozoa ditunjukkan pada Gambar 3.1.



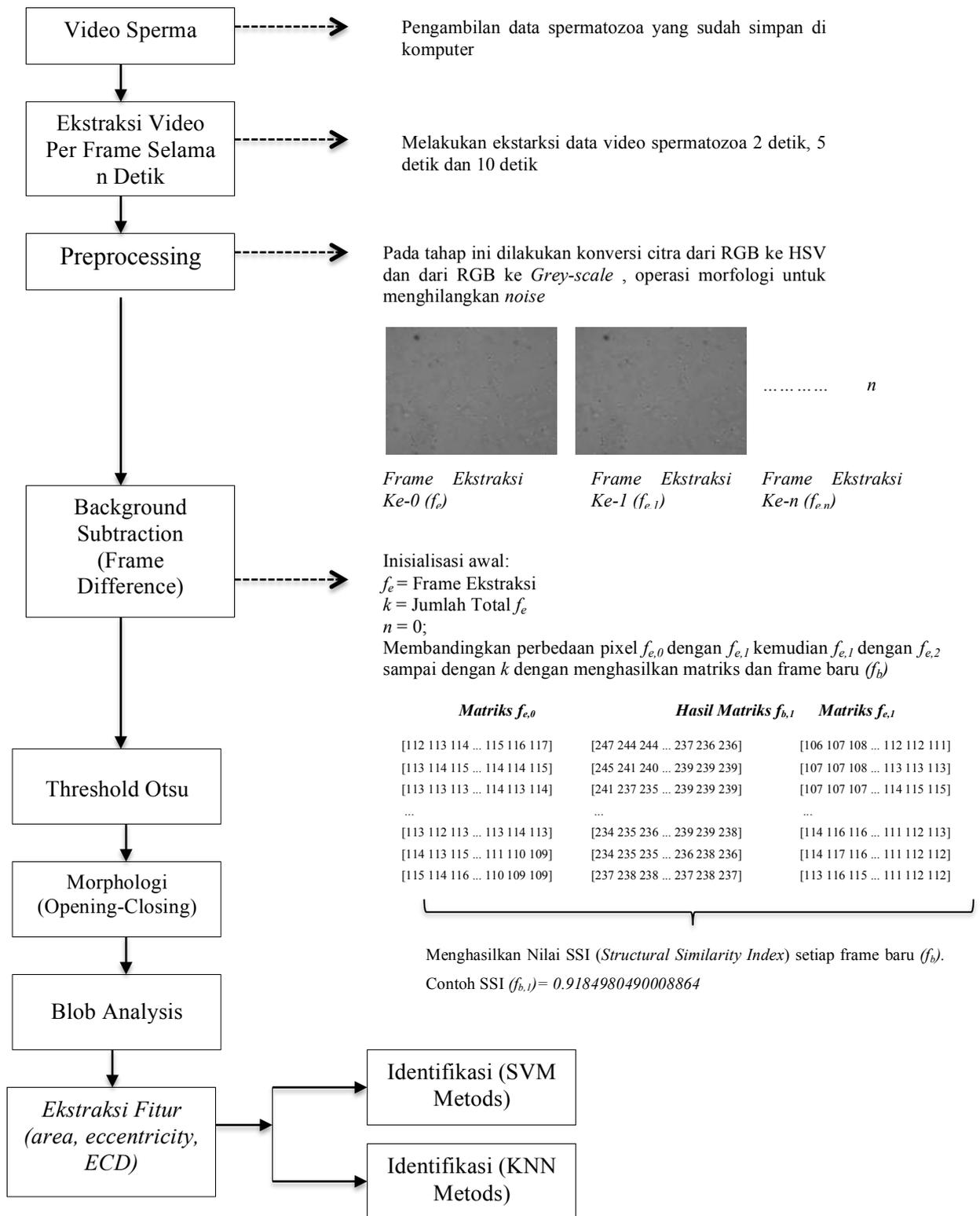
Gambar 3.1. Spermatozoa manusia (WHO, 2010), (a) Normal, (b) Abnormal, (c) *Epithelial Cell*, (d) *Bacilli*

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

3.2. Identifikasi Abnormalitas Morfologi Spermatozoa

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

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



Gambar 3.2. Identifikasi Abnormalitas Morfologi Spermatozoa

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

3.3. Pelacakan Pergerakan Kepala Spermatozoa

3.3.1. Proses Preprocessing

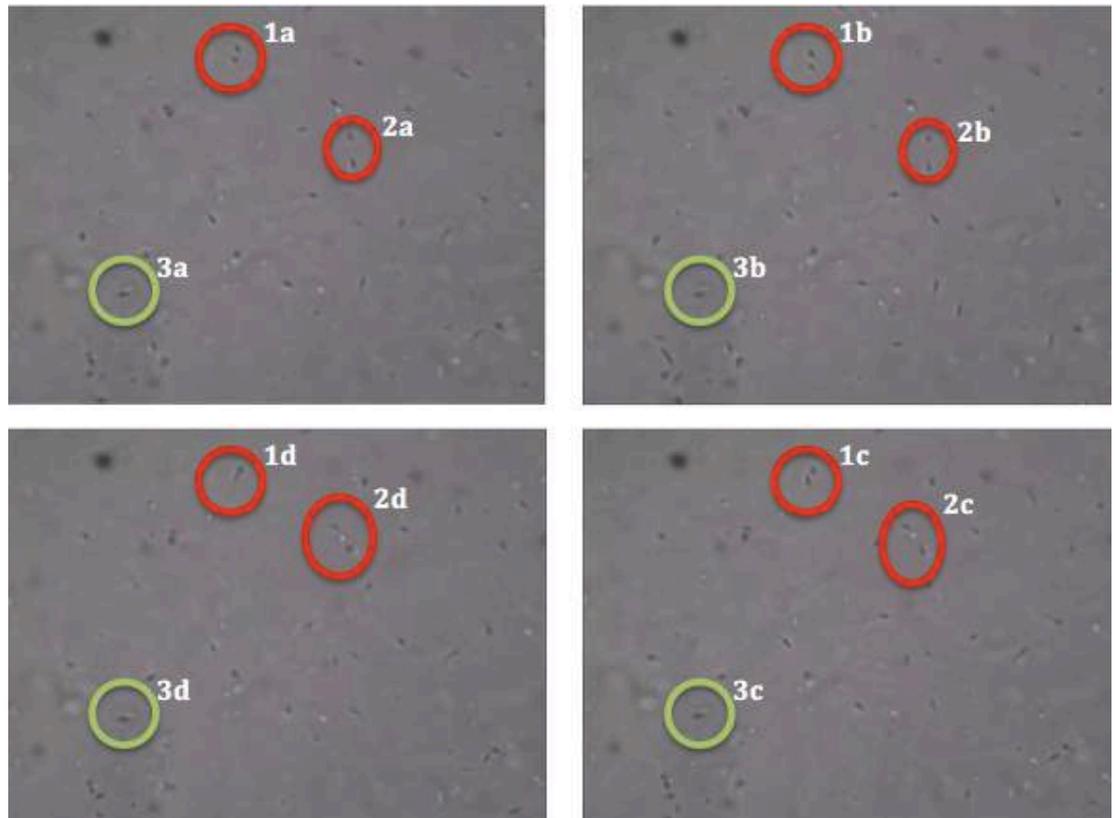
Konversi citra berwarna (*RGB*) ke dalam bentuk citra berskala keabuan (*grey-scale*) sering kali dilakukan dikarenakan banyak operasi pemrosesan citra yang bekerja pada skala keabuan. Namun, terkadang citra berskala keabuan pun perlu dikonversikan ke dalam citra biner (*binary image*), hal ini dilakukan karena beberapa operasi dalam pemrosesan citra berjalan pada citra biner.

3.3.2. Pengujian *Preprocessing*

Pada tahap ini, diawali dengan melakukan pemotongan video dengan durasi 2 detik, 10 detik dan 15 detik, pemotongan ini dilakukan untuk mencari durasi yang terbaik dalam menghitung jumlah spermatozoa dalam satu video (Gambar 3.3).

Pada Gambar 3.3. adalah simulasi perubahan pergerakan spermatozoa dari frame 1 ke frame berikutnya. Lingkaran merah 1a terlihat ada 2 sperma yang bergerak masing-masing ke atas, dengan pergerakan sperma yang dibawah lebih cepat Bergeraknya dibandingkan dengan sperma yang diatasnya (Gambar 3.3. 1b, 1c dan 1d), sehingga pada Gambar 3.3. 1d terlihat menumpuk. Demikian juga pada Gambar 3.3. 2a ada 2 sperma yang bergerak yang saling berpapasan, sehingga pada Gambar 3.3. 2b, 2c dan 2d terlihat terjadi penumpukan.

Untuk Gambar 3.3. 3a, 3b, 3c dan 3d adalah spermatozoa yang tidak bergerak, terlihat terjadi perubahan yang sedikit dari posisi semula, karena terdorong oleh sperma yang bergerak.



Gambar 3.3. Hasil Ekstraksi Video Durasi 2 detik menjadi 58 frame

Kemudian dilakukan ekstraksi video menjadi beberapa *frame* agar dapat digunakan untuk mencari rata-rata *frame*, dan membandingkan *frame* satu dengan *frame* lainnya, kemudian proses *preprocessing* dengan mengubah data RGB ke HSV dan RGB ke *Grey-scale*. Selanjutnya digabungkan H dan S dengan nilai *threshold* tertentu (dapat dikondisikan). Dalam penelitian ini *Hue* (H) diatur dengan batas terendah = 0:2 dan batas tertinggi = 0:5 walaupun sebenarnya besaran nilai *threshold* tidak berpengaruh untuk H, jadi bisa ditentukan atau tidak nilai *threshold*-nya. Adapun untuk *Saturation* (S) harus ditentukan nilai *threshold*-nya, nilai batas yang ditetapkan dalam pengujian adalah terendah 0:05 dan tertinggi = 0:2, sebenarnya besaran nilai *threshold* tidak berpengaruh untuk H, jadi bisa ditentukan atau tidak nilai *threshold*-nya.

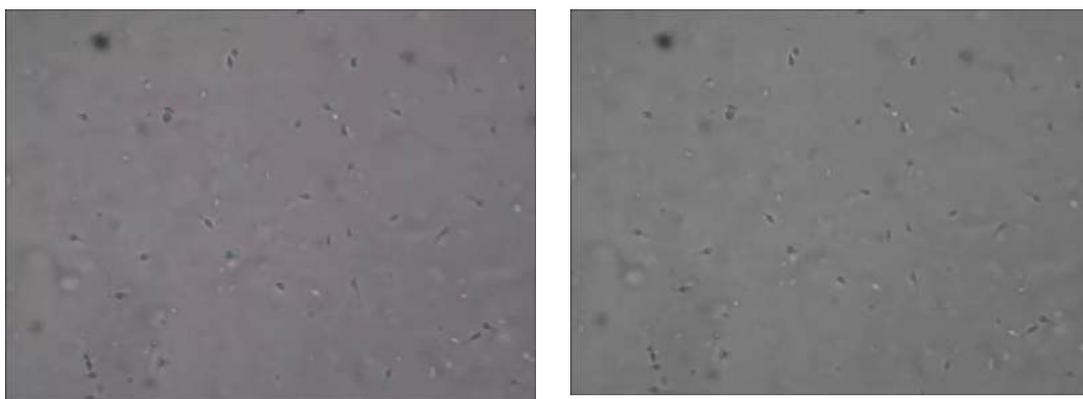
Dalam mengubah warna citra dari RGB ke GrayScale menggunakan persamaan seperti dibawah ini :

$$Y = 0,299.R + 0,587.G + 0,114.B \quad (3.1)$$

Dengan hasil matriks yang sesuai dengan ukuran matriks citra sebelumnya yaitu 480x640

$$\begin{bmatrix}
 [42 & 84 & 81 & \dots & 79 & 82 & 40] \\
 [71 & 114 & 111 & \dots & 120 & 123 & 80] \\
 [73 & 116 & 114 & \dots & 115 & 117 & 74] \\
 \dots \\
 [70 & 113 & 111 & \dots & 110 & 112 & 67] \\
 [67 & 110 & 108 & \dots & 108 & 109 & 63] \\
 [38 & 81 & 79 & \dots & 77 & 79 & 34]
 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya dilakukan proses menghilangkan latar belakang dengan frame Difference dan segmentasi menggunakan otsu Threshold, serta operasi menghilangkan noise pada citra dan operasi *region filling* untuk memperbaiki citra dengan mengisi obyek bagian yang kosong (*holes*) yang terdapat pada region sehingga obyek pada citra terlihat lebih baik. Tahap berikutnya yaitu operasi erosi dan dilasi. Hal ini perlu dilakukan untuk menghilangkan noise yang masih tersisa serta menghilangkan ekor spermatozoa yang terputus sehingga tidak dideteksi sebagai spermatozoa supaya mendapatkan hasil yang lebih akurat dikarenakan disini peneliti menfokuskan identifikasi berdasarkan keberadaan kepala spermatozoa. Sedangkan dilasi diperlukan untuk memperbesar kembali setelah dilakukan penghilangan *noise* atau obyek yang tidak penting melalui operasi erosi sebelumnya.



Gambar 3.4 Konversi RGB ke Grey scale pada Citra Spermatozoa. (a) Citra RGB, (b) Citra Grey Scale

Operasi erosi dan dilasi juga diperlukan supaya dapat mendeteksi keberadaan sperma yang menumpuk (memisahkan obyek spermatozoa) dan meminimalisir kesalahan dalam proses operasi selanjutnya.

3.3.3. Pengujian *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 (E. Borges Jr, 2016). 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 (Basoeki, 2016). Tantangan yang dihadapi adalah terdapat objek *background* yang bergerak dan adanya objek baru yang dianggap sebagai *background*. Masukan dari proses *background subtraction* adalah *frame* video yang telah di *preprocessing* dan luarannya merupakan gambar biner yang merepresentasikan objek (sperma) yang bergerak pada video. Pada penelitian ini diaplikasikan algoritma *Frame Difference background subtraction* (Hongpeng, 2011)

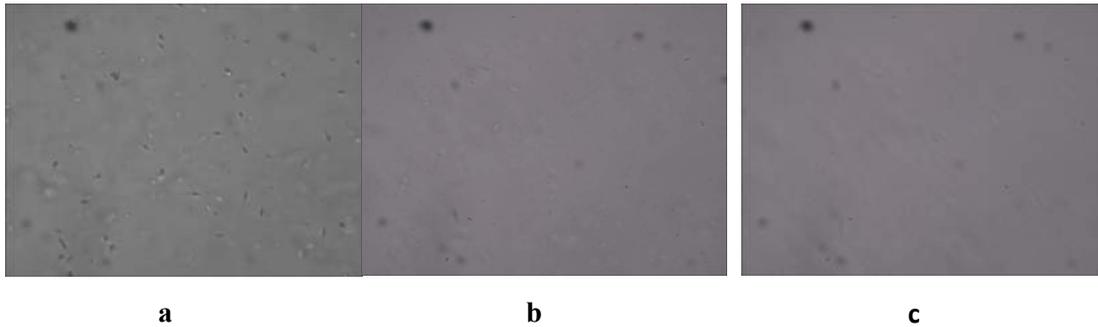
3.3.3.1. Mencari *Frame Rata-Rata*

Proses ekstraksi ini dilakukan untuk memperoleh gambar-gambar (*frame*) dari data video sesuai dengan FPS (*frame per-second*). Setiap gambar akan dibandingkan pada proses *background subtraction* untuk mendapatkan objek yang bergerak. Hal ini dilakukan karena algoritma proses *background subtraction* memerlukan masukan gambar per gambar.

Sebelum membandingkan *frame per frame*, terlebih dahulu dicari *frame* rata-rata dari video sperma yang sudah di ekstraksi. Fungsi untuk menghitung *frame* rata-rata digunakan Persamaan 3.2. dibawah ini,

$$dst(x,y) \leftarrow (1 - \alpha).dst(x,y) + \alpha.scr(x,y) \text{ if } mask(x,y) \neq 0 \quad (3.2)$$

Dimana, *dst* : Gambar akumulator, *scr* adalah Gambar input, *alpha* adalah Berat Gambar Input, *mask* adalah Masker operasi opsional, *x,y* adalah array gambar. Hasil dari proses *frame* rata-rata dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Hasil *frame* rata-rata (a) Video sperma durasi 2 detik, (b) Video sperma durasi 10 detik, (c) Video sperma durasi 15 detik

Hasil pemisahan ini akan menghasilkan gambar hitam dan putih, dimana putih mempresentasikan objek yang bergerak. Di dalam proses ini gambar yang berwarna akan di ubah menjadi gambar keabuan dengan tujuan untuk merubahnya menjadi citra biner. Gambar *frame* awal yang belum berisi objek yang bergerak akan dibersihkan dari *noise* untuk menghasilkan *background* yang stabil dan peka terhadap perubahan *foreground*. Tidak ada parameter khusus yang ditambahkan dalam fungsi *background subtraction* ini, parameter mengikuti konfigurasi default.

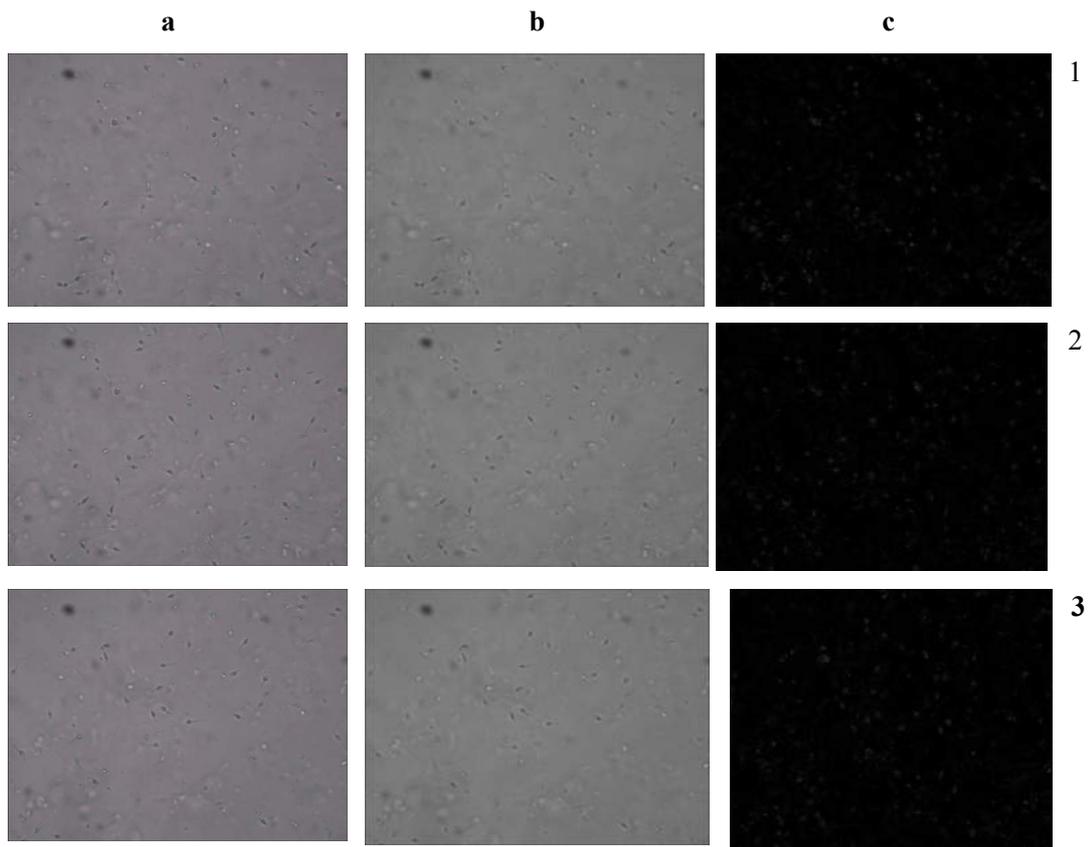
3.3.3.2. Hasil Pengujian Background Subtraction

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.

Pada proses ini digunakan metoda dari library opencv yaitu *absdiff*. Metoda ini memiliki fungsi untuk menghitung perbedaan *absolute* antara *array* matriks satu dengan *array* matriks lainnya. Persamaan yang digunakan pada metoda ini untuk membandingkan satu *array* matriks dengan array matriks lain yang memiliki ukuran yang sama adalah sebagai berikut :

$$dst(I) = Saturate(|scr_1(I) - scr_2(I)|) \quad (3.3)$$

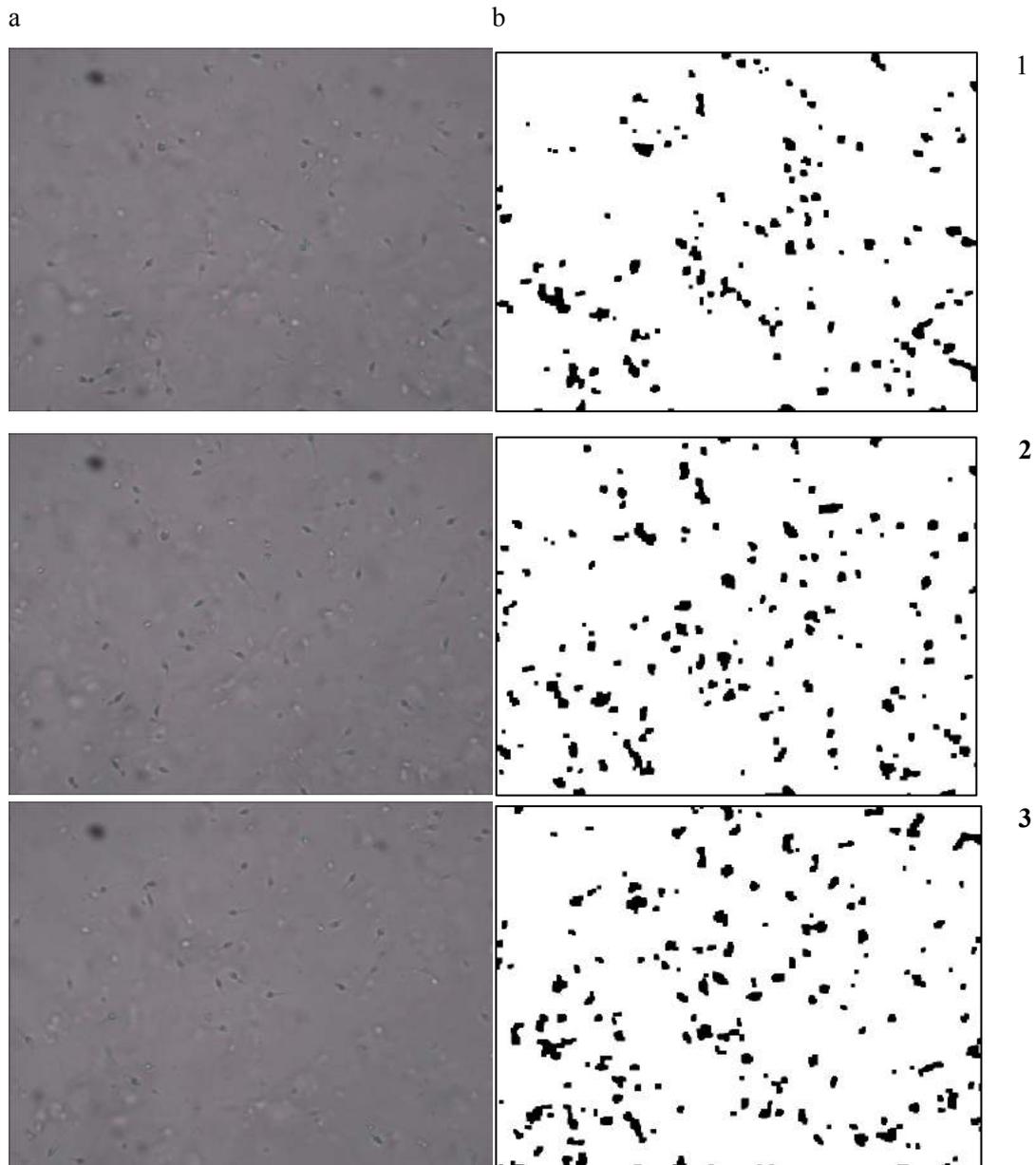
Dimana : scr_1 = inputan *array* matriks₁; scr_2 = inputan *array* matriks₂; dst = output *array* matriks hasil perbandingan. Hasil *background subtraction* dengan modifikasi *frame difference* pada sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Hasil Proses Background Subtraction Dengan Frame Difference
(a1) Hasil Ekstraksi Video sperma durasi 2 detik pada frame ke 12, (a2) Hasil Grey Scale, (a3) Hasil Proses Background Subtraction Untuk frame ke 12
(b1) Hasil Ekstraksi Video sperma durasi 10 detik pada frame ke 33, (a2) Hasil Grey Scale, (a3) Hasil Proses Background Subtraction Untuk frame ke 33
(c1) Hasil Ekstraksi Video sperma durasi 15 detik pada frame ke 152, (a2) Hasil Grey Scale, (a3) Hasil Proses Background Subtraction Untuk frame ke 152

3.3.4. Pengujian *Otsu Threshold*

Proses ini merupakan bagian dari proses segmentasi yang memiliki fungsi untuk memisahkan objek dengan background dalam suatu citra berdasarkan perbedaan tingkat kecerahannya atau gelap dan terangnya. Bagian citra yang cenderung gelap akan dibuat semakin gelap (hitam) dan bagian yang terang akan semakin dibuat terang (putih). Metoda yang digunakan dalam proses ini adalah *threshold* yang diambil dari *library opencv*. Gambar 3.7. adalah hasil pengujian proses segmentasi *Otsu Threshold* dan proses morfologi



Gambar 3.7. Operasi Morfologi (a2) Hasil Operasi Morfologi untuk *frame* 12 pada durasi video 2 detik, (b2) Hasil Operasi Morfologi untuk *frame* 33 pada durasi video 10 detik (c2) Hasil Operasi Morfologi untuk *frame* 152 pada durasi video 15 detik

3.3.5. Pengujian Operasi Morfologi

Operasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan bentuk kepala spermatozoa. Proses morphology dilakukan dengan opening dan closing.

Opening adalah proses erosi yang diteruskan dengan proses dilasi. Proses ini berguna untuk menghilangkan obyek-obyek kecil, dimana obyek-obyek tersebut diasumsikan sebagai *noise*. Proses *opening* dilakukan dengan metoda *morphologyEx*

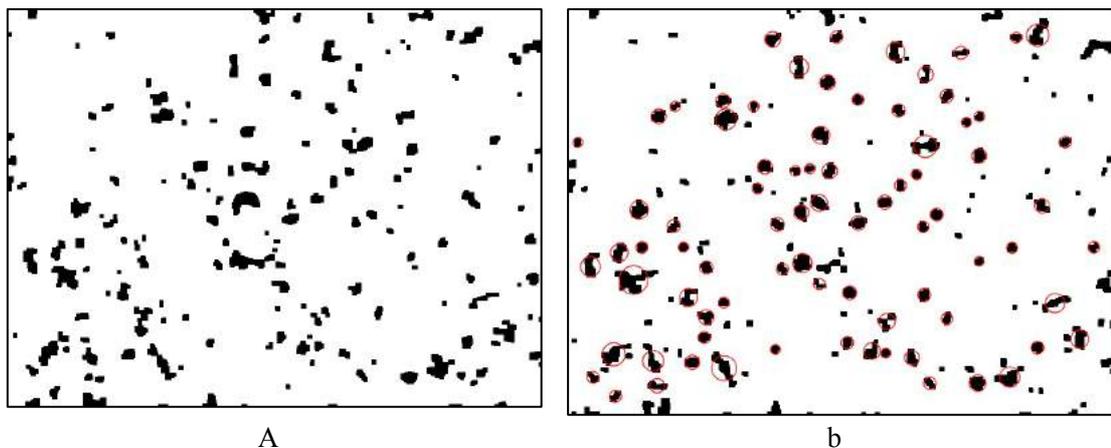
yang sudah disediakan oleh *library opencv* dengan penambahan parameter penunjuk *Morph_Open*.

Closing adalah proses dilasi yang diikuti dengan proses erosi. Proses ini berguna untuk menghilangkan lubang-lubang kecil untuk menyempurnakan objek. Proses closing dilakukan dengan metoda *morphologyEx* yang sudah disediakan oleh *library opencv* dengan penambahan parameter penunjuk *Morph_Close*. Hasil pengujian proses morfologi menjadi satu dengan hasil *Otsu Threshold*.

3.3.6. Segmentasi

3.3.6.1. Pemberian Label

BLOB terdiri kumpulan piksel yang saling terhubung satu sama lain yang memiliki hubungan ketetanggaan pada citra biner. Untuk dapat dapat menghitung jumlah obyek pada citra biner diperlukan pelabelan obyek. Pelabelan obyek dapat ditentukan dengan mengetahui hubungan satu piksel dengan piksel yang lain yang ditentukan oleh *connectivity*. *Connectivity* yang sering digunakan adalah *4-connectivity* dan *8-connectivity*. Adapun dalam penelitian ini menggunakan *8-connectivity* karena memiliki akurasi yang lebih baik dari pada *4-connectivity*. Perhitungan *BLOB* dilakukan dengan mencari (*scanning*) dan memberi label setiap piksel pada citra biner. Jika ditemukan nilai warna piksel *foreground* (putih) yang sama atau berdekatan dengan piksel sebelumnya maka akan diberikan label, begitu juga seterusnya. Gambar 3.8. adalah hasil proses pemberian label tiap sperma pada 1 (satu) *frame*.



Gambar 3.8. Hasil Proses Pemberian Label Tiap Sperma Pada salah satu *Frame*

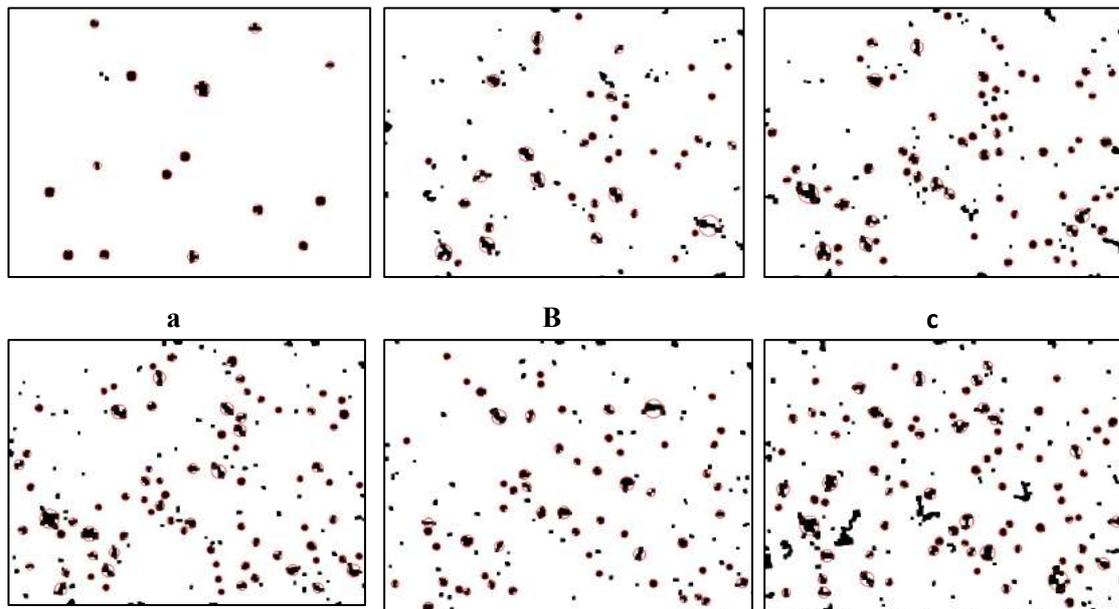
3.3.6.2 Ekstraksi *Boundary*

Extraction Boundary yaitu mencari batas daerah pada citra biner. Penentuan batas suatu objek dengan terlebih dahulu dilakukan erosi dengan *Structuring Element (SE)* yang sesuai. *Boundary* himpunan dinyatakan oleh (A), bisa didapatkan dengan terlebih dahulu mengerosi A oleh B dan kemudian melakukan himpunan pengurangan antara A dan hasil erosi. Dapat ditulis dengan Persamaan (3.4)

$$\beta(A) = A - A \ominus B \quad (3.4)$$

Di mana merupakan *Structuring Element (SE)* yang tepat untuk mengerosi A .

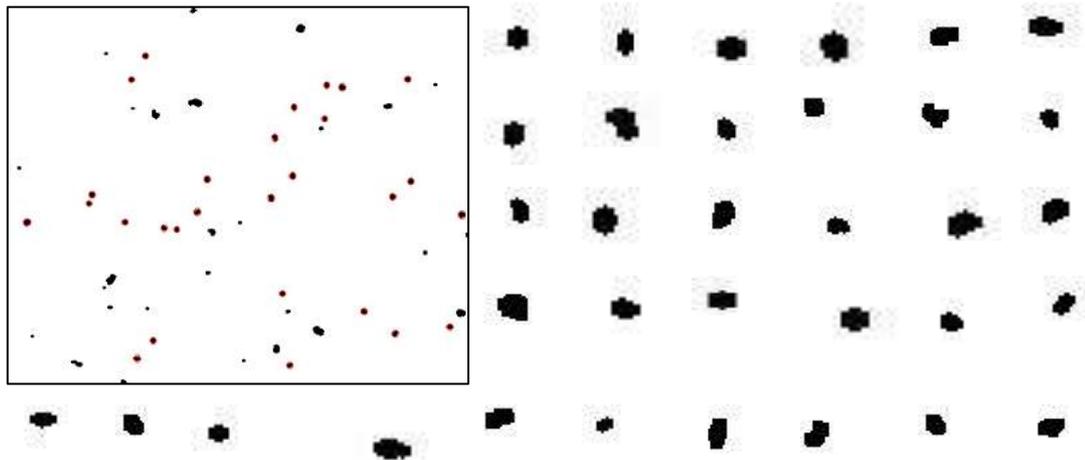
Selanjutnya untuk setiap *BLOB* (obyek) yang diberi label dilakukan ekstraksi boundary yaitu dengan memberi batas daerah pada obyek tersebut seperti pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Hasil Segmentasi *BLOB Analysis* (a) *Frame 1* Pada VS-1, (b) *Frame 2* Pada VS-2, (c) *Frame 5* Pada VS-3

3.3.6.3. *Cropping*

Cropping pada obyek yang terdeteksi sehingga menjadi obyek tinggal. Hal ini diperlukan sebagai obyek yang akan digunakan untuk untuk ekstraksi fitur dan proses klasifikasi. Contoh Hasil *cropping* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Contoh Hasil *Cropping* Pada Video Sperma (VS) Durasi 2 detik Untuk *Frame* Ke-10

3.3.7. Ekstraksi Fitur Morfologi Spermatozoa

Fitur yang digunakan untuk digunakan proses klasifikasi yaitu: *Area*, *Eccentricity* dan *Equivalent Circular Diameter (ECD)*:

1. *Area*

Area sebuah BLOB adalah jumlah piksel BLOB. Fitur ini sering digunakan untuk menghapus BLOB yang sangat kecil atau yang sangat besar.

$$Area = \pi \cdot r^2 \quad (3.5)$$

dimana r merupakan jari-jari dari obyek.

2. *Eccentricity*

Eccentricity adalah rasio jarak antar sumbu mayor (b) dan minor (a) pada objek berbentuk elips.

$$Eccentricity = \frac{b}{a} \quad (3.6)$$

3. *Equivalent Circular Diameter (ECD)*

Equivalent Circular Diameter (ECD) yaitu diameter lingkaran yang areanya sama dengan obyek.

$$ECD = \sqrt{4x \frac{area}{\pi}} \quad (3.7)$$

Proses dan hasil percobaan segmentasi identifikasi serta menghitung jumlah spermatozoa secara otomatis dengan terlebih dahulu menggunakan Blob Analysis yang selanjutnya diklasifikasi menggunakan *SVM* dan *K-NN* berdasarkan fitur *Area*, *Eccentricity* dan (*Equivalent Circular Diameter (ECD)*), dengan menggunakan Persamaan 3.5 – 3.7.

Percobaan ini menggunakan 5 video spermatozoa, dengan perlakuan durasi video 2 detik, 10 detik dan 15 detik, yang kemudian diekstraksi menjadi *frame-frame*, yang masing-masing *frame* terdapat 30 sampai 103 objek yang masing-masing dilakukan pengujian dengan menggunakan 61 obyek data pelatihan yang terbagi atas 2 kelas yaitu 42 kelas data *valid* dan 18 data tidak *valid*.

Pada Tabel 3.1 menunjukkan hasil ekstraksi fitur data *training* yang digunakan untuk proses klasifikasi terdiri atas 3 fitur yaitu *Area*, *Eccentricity* dan *Equivalent Circular Diameter (ECD)*. Terdiri atas 2 kelas yaitu kelas *valid* (spermatozoa) dan tidak valid (*noise*).

3.3.8. Perhitungan Akurasi dengan Analisis *Receiver Operating Characteristics (ROC)*

Pada algoritma tersebut ada sebuah data uji $z = (x', y')$ Dimana x' adalah vektor (data uji), sedangkan y' adalah label kelas data uji yang belum diketahui. Menghitung jarak atau kemiripan data uji ke setiap data latih $d(x', x)$, kemudian ambil k tetangga terdekat pertama dalam Dz . Selanjutnya menghitung jumlah data yang mengikuti kelas yang ada dari k tetangga tersebut. Kelas dengan data terbanyak yang mengikutinya menjadi kelas pemenang yang diberikan sebagai label kelas pada data uji y' . Untuk menangani masalah voting mayoritas tersebut biasanya ditambahkan penggunaan bobot untuk menghitung kandidat kelas yang sebaiknya diambil oleh data uji dari k tetangga terdekat. Bobot dari setiap tetangga terdekat dihitung dengan Persamaan (2.52) dan (3.9)

$$w_i = \frac{1}{d(x', x_i)^2} \quad (3.8)$$

Tabel 3.1. Hasil Ekstraksi Fitur Kelas Spermatozoa (*Valid*) dan Bukan Spermatozoa (*Tidak Valid*) untuk Data *Training*

<i>Frame</i>	Objek Sperma Ke-	<i>Area</i>	<i>Eccentricity</i>	<i>ECD</i>	Kelas
1	1	100.644394	3.796470	0.496386	valid
	2	103.158654	3.819962	0.385267	tidak valid
	3	103.451049	3.822666	0.542861	valid
	4	104.381327	3.831231	0.656393	valid
	5	104.578831	3.833042	0.867644	valid
	6	105.826455	3.844423	0.646714	valid
	7	108.008470	3.864088	0.785615	valid
	8	112.523434	3.903852	0.442726	tidak valid
	9	113.543066	3.912666	0.677639	valid
	10	113.593486	3.913100	0.573234	valid
	11	114.368236	3.919755	0.459207	tidak valid
	12	116.334232	3.936493	0.511912	valid
	13	118.678515	3.956176	0.535969	valid
	14	120.706964	3.972974	0.938664	valid
	15	122.036966	3.983873	0.507819	valid
	16	122.344410	3.986379	0.928356	valid
	17	133.125866	4.071442	0.413159	tidak valid
	18	133.517212	4.074430	0.630286	valid
	19	133.879148	4.077189	0.421538	tidak valid
	20	136.003918	4.093270	0.586179	valid
	21	137.109269	4.101562	0.491820	valid
	22	137.384429	4.103618	0.252735	tidak valid
	23	137.906533	4.107512	0.862241	valid
	24	140.010252	4.123087	0.630912	valid
	25	140.134347	4.124001	0.524267	valid
	26	140.774195	4.128700	0.765853	valid
	27	142.813929	4.143575	0.346565	tidak valid
	28	144.917371	4.158749	0.806667	valid
2	1	145.354076	4.161878	0.477718	valid
	2	147.021227	4.173761	0.409700	tidak valid
	3	150.731271	4.199847	0.568157	valid
	4	152.987596	4.215476	0.528862	valid
	5	153.453980	4.218685	0.602312	valid
	6	154.174322	4.223627	0.713100	valid
	7	155.008143	4.229327	0.687671	valid
	8	155.654123	4.233726	0.467117	valid
	9	157.093191	4.243478	0.462282	valid
	10	179.206720	4.385521	0.256262	tidak valid
	11	188.084908	4.438856	0.677695	valid
	12	189.074806	4.444685	0.413259	tidak valid

Lanjutan Tabel 3.1.

<i>Frame</i>	Objek Sperma Ke-	<i>Area</i>	<i>Eccentricity</i>	<i>ECD</i>	Kelas
	13	192.186303	4.462859	0.785113	valid
	14	199.664059	4.505651	0.948836	valid
	15	201.606286	4.516569	0.720507	valid
	16	202.449596	4.521284	0.514102	valid
	17	206.307500	4.542672	0.267362	tidak valid
	18	212.558425	4.576697	0.686091	valid
	19	221.737002	4.625324	0.829510	valid
	20	225.618997	4.645436	0.322817	tidak valid
	21	226.297013	4.648922	0.894439	valid
	22	245.294634	4.743562	0.824400	valid
	23	252.090871	4.776083	0.546109	valid
	24	256.300590	4.795899	0.658680	valid
	25	264.373397	4.833225	0.492506	valid
	26	265.615822	4.838894	0.504579	valid
	27	265.977385	4.840539	0.661079	valid
	28	304.717437	5.007915	0.281455	tidak valid
	29	306.919607	5.016938	0.356646	tidak valid
	30	366.475569	9.567637	0.489972	tidak valid
	31	673.412300	10.735241	0.996767	tidak valid
	32	787.699151	15.863524	0.592773	tidak valid
	33	136.986818	3.512155	0.386586	tidak valid

Hasil dari klasifikasi akan dilakukan perbandingan sehingga akan diperoleh empat nilai, masing-masing adalah *True Positive (TP)*, *False Negative (FN)*, *False Positive (FP)*, dan *True Negative (TN)*. *True Positive (TP)* menunjukkan citra spermatozoa valid yang teridentifikasi valid. *False positive (FP)* merupakan citra valid teridentifikasi tidak valid. *True Negative (TN)* merupakan citra spermatozoa tidak valid teridentifikasi valid. *False Negative (FN)* menunjukkan citra spermatozoa tidak valid teridentifikasi tidak valid pada kelas tersebut. Berdasarkan ke empat nilai tersebut dapat diperoleh nilai *True Positive Rate (TPR)* yang dikenal dengan istilah *sensitivity* yaitu citra yang teridentifikasi secara benar berdasarkan Persamaan (3.8).

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3.9)$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (3.10)$$

$$Specificity = 1 - FPR \quad (3.11)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100\% \quad (3.12)$$

3.3.9. Pengujian Klasifikasi Morfologi Spermatozoa

Pada pengujian ini, setelah proses segmentasi dan identifikasi terhadap citra yang diuji, peneliti melakukan kembali dengan menggunakan *SVM* berdasarkan fitur *Area*, *Eccentricity* dan *Equivalent Circular Diameter (ECD)*. Hal ini dilakukan supaya hasil yang didapatkan memiliki akurasi yang akurat.

Pada Tabel 3.1 menunjukkan hasil ekstraksi fitur data training yang digunakan untuk proses klasifikasi terdiri atas 3 fitur yaitu *Area*, *Eccentricity* dan *Equivalent Circular Diameter (ECD)*. Terdiri atas 2 kelas yaitu kelas valid (spermatozoa) dan tidak valid (*noise*).

3.3.9.1. Klasifikasi Morfologi Spermatozoa dengan Metode *Support Vector Machine (SVM)*

Berdasarkan Tabel 3.1 menunjukkan hasil klasifikasi dengan *Support Vector Machine (SVM)* dengan menggunakan 1 video sperma, 3 *frame* yang terdiri atas 61 data uji. Untuk mendapatkan besarnya akurasi menggunakan *SVM* dihitung nilai *True Positive (TP)*, *False Positive (FP)*, *True Negative (TN)*, *False Negative (FN)* untuk setiap data yang diuji seperti yang terdapat pada Tabel 3.2, dengan data uji 1 Video dari 5 Video yang diujikan.

Tabel 3.2. Hasil Pengujian Klasifikasi Sperma Dengan Metode *Support Vector Machine (SVM)*

<i>Frame Ke-</i>	<i>Pengamatan Manual</i>	<i>Deteksi Analisis BLOB</i>	<i>Klasifikasi SVM</i>	<i>TP</i>	<i>FP</i>	<i>TN</i>	<i>FN</i>	<i>Akurasi (%)</i>
1	13	15	12	12	1	2	0	93,33
2	13	15	13	13	0	1	1	93,33
3	19	22	18	19	0	1	2	90,91
4	20	24	18	18	2	3	1	87,50
5	25	27	23	23	0	2	2	92,59
6	26	29	23	23	3	2	1	86,21
7	29	34	30	29	1	2	2	91,18
8	33	36	36	33	0	2	1	97,22
9	40	43	43	40	3	0	0	93,02
10	46	51	46	46	0	2	3	94,12
11	44	52	46	44	0	6	2	96,15
12	59	63	61	59	2	0	2	93,65
13	52	59	57	52	0	2	5	91,53
14	58	62	52	52	0	4	6	90,32
15	51	61	51	51	0	3	7	88,52
16	54	63	55	54	0	8	1	98,41
17	56	62	60	56	0	2	4	93,55
18	58	64	60	58	1	3	2	95,31
19	58	68	58	58	1	8	1	97,06
20	57	67	61	57	2	4	4	91,04
21	60	78	64	60	8	4	6	82,05
22	61	72	61	61	0	8	3	95,83
23	58	68	62	58	4	4	2	91,18
24	63	78	70	63	7	6	2	88,46
25	57	67	56	57	1	10	1	97,10
26	62	75	65	62	4	6	3	90,67
27	51	66	58	51	3	3	7	84,38
28	57	70	63	57	0	2	6	90,77
29	60	68	60	60	0	1	2	96,83
30	62	69	65	62	1	3	3	94,20
31	64	73	62	64	2	0	0	96,97
32	57	68	60	57	2	6	3	92,65
33	57	71	57	57	0	1	3	95,08
34	61	75	60	60	1	8	6	90,67
35	67	84	70	67	5	9	3	90,48
36	71	87	78	71	2	7	7	89,66
37	66	78	68	66	4	6	2	92,31
38	56	59	57	56	1	1	1	96,61

Lanjutan Tabel 3.2.

<i>Frame Ke-</i>	<i>Pengamatan Manual</i>	<i>Deteksi Analisis BLOB</i>	<i>Klasifikasi SVM</i>	<i>TP</i>	<i>FP</i>	<i>TN</i>	<i>FN</i>	<i>Akurasi (%)</i>
39	61	73	61	61	0	8	4	94,52
40	63	78	67	63	4	5	4	89,47
41	60	67	65	60	5	5	0	92,86
42	63	71	68	63	2	1	5	90,14
43	60	66	60	60	0	2	4	93,94
44	62	67	61	62	1	4	1	97,06
45	65	68	61	61	4	1	2	91,18
46	60	63	62	60	2	4	2	94,12
47	67	71	64	67	1	0	3	94,37
48	72	85	70	70	2	3	8	87,95
49	73	87	70	70	3	10	4	91,95
50	67	67	65	65	2	0	0	97,01
51	68	73	64	64	4	2	3	90,41
52	65	66	60	60	5	0	1	90,91
Jlm / Rata-rata	2807	3225	2857	2772	96	187	148	4806,74
	53,98	62,02	54,94	53,31	1,85	3,60	2,85	92,44

Dari Tabel 3.2 didapatkan hasil *confusion* matriks sebagai berikut:

- *True Positive (TP)* = 2772
- *False Positive (FP)* = 96
- *True Negative (TN)* = 187
- *False Negative (FN)* = 148

Perhitungan *Receiver Operating Characteristics (ROC)*:

$$TPR = \frac{2772}{2772+148} = 0,95$$

$$FPR = \frac{96}{96+187} = 0,334$$

$$Specificity = 1 - 0,334 = 0,666$$

$$Precision = \frac{2772}{(2772+96)} = 0,967$$

$$Accuracy = \frac{2772+187}{2772+187+96+148} \times 100\% = 92,44\%$$

Dari perhitungan *ROC* di atas didapatkan hasil untuk pengujian terhadap 52 *frame* pada satu video sperma durasi 2 detik menggunakan *Support Vector Machine (SVM)* didapatkan rata-rata *specificity* sebesar 0,69, presisi 0.96 dan akurasi sebesar 93,46%

3.3.9.2. Hasil Pengujian Klasifikasi Morfologi Spermatozoa dengan Metode *K-Nearest Neighbour (K-NN)*

Berdasarkan data training pada Tabel 3.1 untuk mendapatkan besarnya akurasi menggunakan *SVM* dihitung nilai *True Positive (TP)*, *False Positive (FP)*, *True Negative (TN)*, *False Negative (FN)* untuk setiap data yang diuji seperti yang terdapat pada Tabel 3.3, dengan data uji 1 Video dari 5 Video yang diujikan.

Tabel 3.3. Hasil Pengujian Klasifikasi Sperma Dengan Metode *K-Nearest Neighbour (K-NN)*

Frame Ke-	Pengamatan Manual	Deteksi Analisis BLOB	Klasifikasi K-NN	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)
1	13	15	10	10	0	2	3	80,00
2	13	15	11	11	0	1	3	80,00
3	19	22	21	20	1	0	1	90,91
4	20	24	22	20	0	3	1	95,83
5	25	27	21	21	0	0	6	77,78
6	26	29	25	25	0	4	1	96,67
7	29	34	32	29	3	0	2	85,29
8	33	36	34	33	1	1	1	94,44
9	40	43	41	39	2	0	2	90,70
10	46	51	41	41	0	5	5	90,20
11	44	52	49	44	5	3	0	90,38
12	59	63	62	59	3	1	0	95,24
13	52	59	58	52	6	1	0	89,83
14	58	62	52	52	0	4	6	90,32
15	51	61	60	51	9	1	0	85,25
16	54	63	61	54	7	2	0	88,89
17	56	62	60	56	4	2	0	93,55
18	58	64	62	58	4	2	0	93,75
19	58	68	67	58	9	1	0	86,76
20	57	67	63	57	6	4	0	91,04
21	60	78	72	60	12	6	0	84,62
22	61	72	71	61	10	1	0	86,11
23	58	68	66	58	8	2	0	88,24

Lanjutan Tabel 3.3.

Frame Ke-	Pengamatan Manual	Deteksi Analisis BLOB	Klasifikasi K-NN	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)
24	63	78	74	63	11	4	0	85,90
25	57	67	68	57	11	1	0	84,06
26	62	75	71	62	9	4	0	88,00
27	51	66	64	51	13	2	0	80,30
28	57	70	65	57	8	5	0	88,57
29	60	68	66	60	6	2	0	91,18
30	62	69	65	62	3	4	0	95,65
31	64	73	71	64	7	2	0	90,41
32	57	68	67	57	10	1	0	85,29
33	57	71	68	57	11	0	0	83,82
34	61	75	74	60	14	0	1	80,00
35	67	84	80	67	13	4	0	84,52
36	71	87	81	71	10	6	0	88,51
37	66	78	76	66	10	2	0	87,18
38	56	59	52	52	0	3	4	93,22
39	61	73	68	61	7	5	0	90,41
40	63	78	72	63	9	6	0	88,46
41	60	67	65	60	5	2	0	92,54
42	63	71	68	63	5	3	0	92,96
43	60	66	64	60	4	2	0	93,94
44	62	67	58	58	0	5	4	94,03
45	65	68	65	61	4	3	0	94,12
46	60	63	57	57	0	3	3	95,24
47	67	71	69	67	2	2	0	97,18
48	72	85	70	70	0	13	2	97,65
49	73	87	70	70	0	14	3	96,55
50	67	67	65	65	0	0	2	97,01
51	68	73	71	68	3	2	0	95,89
52	65	66	66	60	1	5	0	98,48
Jlm / Rata-rata	2807	3225	3031	2758	266	151	50	4676,88
	53,98	62,02	58,29	53,04	5,12	2,90	0,96	89,94

Dari Tabel 3.3 didapatkan hasil confusion matriks sebagai berikut:

- *True Positive (TP)* = 2758
- *False Positive (FP)* = 266
- *True Negative (TN)* = 151
- *False Negative (FN)* = 50

Perhitungan *Receiver Operating Characteristics (ROC)*:

$$TPR = \frac{2758}{2758+50} = 0,98$$

$$FPR = \frac{266}{266+151} = 0,64$$

$$Specificity = 1 - 0,64 = 0,36$$

$$Precision = \frac{2758}{(2758+266)} = 0,912$$

$$Accuracy = \frac{2758+151}{2758+266+151+50} \times 100\% = 89,94\%$$

Dari perhitungan ROC di atas didapatkan hasil untuk pengujian terhadap 25 citra menggunakan K-NN didapatkan rata-rata specificity sebesar 0,38, presisi = 0,921 dan akurasi sebesar 90,23%

Dari ketiga metode yang digunakan untuk klasifikasi, dengan data training yang sama (Tabel 3.1), tidak ditemukan perbedaan yang signifikan ($\leq 5\%$), seperti yang terlihat pada Table 3.3. Tabel 3.4. adalah hasil uji coba klasifikasi tanpa mencari terlebih dahulu nilai frame rata-rata. Jika dibandingkan dengan table 3.4. ditemukan perbedaan yang cukup signifikan ($\geq 10\%$).

3.4. Ringkasan Hasil

Berdasarkan pengujian, identifikasi dan penghitungan spermatozoa bisa dilakukan secara otomatis. Dalam penelitian ini, Blob Analysis mendeteksi ROI (Region of Interest) berdasarkan nilai treshold citra dari H dan S. Selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan *Support Vector Machine (SVM)* dan *K-NN*, menggunakan fitur *Area*, *Eccentricity* dan *ECD*. Berdasarkan pengujian SVM didapatkan akurasi yang signifikan mencapai tingkat akurasi rata-rata 93,46. Selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan metode K-NN yang digunakan sebagai metode pembanding dengan hasil akurasi mencapai 90,23%.

Keterangan:

Publikasi yang dihasilkan dari topik ini, yaitu:

1. “*Automated Analysis of Human Sperm Number and Concentration (Oligospermia) Using Otsu Threshold Method and Labelling*”, ICET4SD IOP

Conf. Series: Materials Science and Engineering **105** (2016) 012038.
DOI:10.1088/1757-899X/105/1/012038

2. “*Teratozoospermia Classification Based On The Shape Of Sperm Head Using Otsu Threshold And Decision Tree,*” *BISSTECH 2015, MATEC Web of Conferences* **58**, 03012 (2016) DOI: 10.1051/mateconf/ 20165803012,
3. “*Automatic Spermatozoa Head Movements Identification Using M-Frame Difference and Support Vector Machine*”, *Proses review pada International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. ISSN: 2088-8708, Quartile: Q2. H Index: 11 (Proses review).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

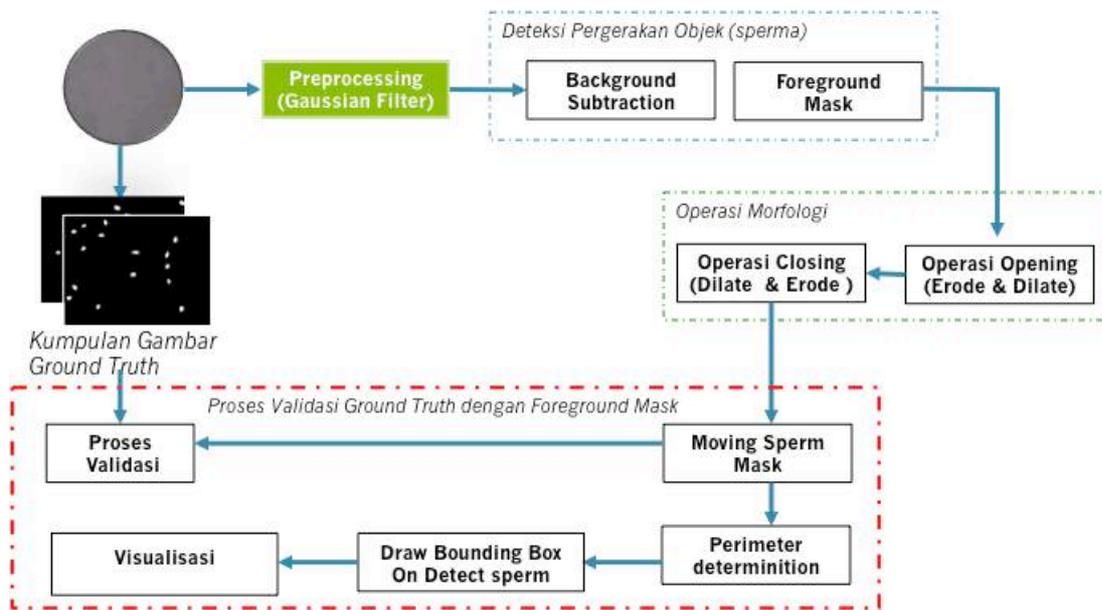
MODIFIKASI BACKGROUND SUBTRACTION UNTUK PENJEJAKAN SPERMATOZOA

4.1. Fitur-fitur Ekstraksi Deteksi Spermatozoa

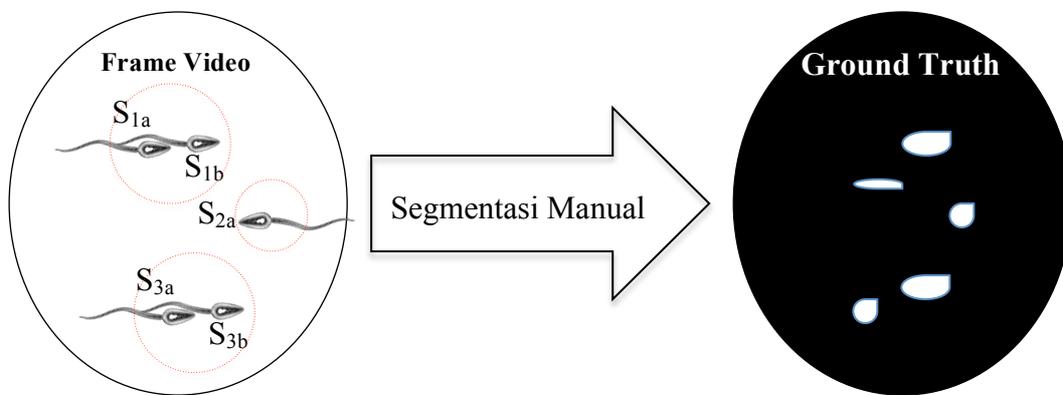
Ada 4 proses yang dilakukan untuk dapat mendeteksi dan menghitung sperma manusia (Blok diagram pada Gambar 4.1). Proses yang pertama adalah *preprocessing* menggunakan *gaussian filter*, yang dilakukan pada setiap *frame* yang dibaca dari video sperma. Selanjutnya adalah proses *background subtraction*, 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

4.2. *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 4.2.



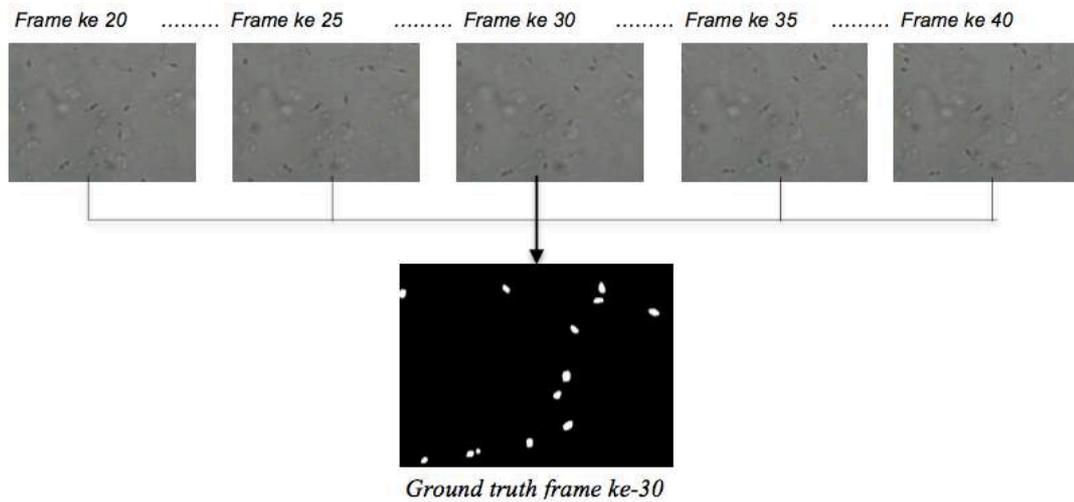
Gambar 4.1. Blok Diagram Proses Deteksi dan Menghitung spermatozoa



Gambar 4.2. Cara Untuk Membuat *Ground Truth Image*

Untuk memastikan daerah tersebut memang terdapat objek sperma yang bergerak, maka diamati 10 *frame* sebelum dan 10 *frame* sesudah dari *frame* yang akan dibuat gambar *ground truth*-nya. Misal: gambar *ground truth* frame ke-30 dibuat dengan cara mengamati pergerakan sperma mulai dari *frame* ke-20 sampai dengan *frame* ke-40 dari video. Daerah dimana terdapat objek sperma yang bergerak, ditandai dengan memberikan nilai piksel 255 (putih) dan daerah yang tidak memiliki

objek sperma yang bergerak ditandai dengan memberikan nilai piksel 0 (hitam). Dengan cara ini maka terbentuk gambar *ground truth* yang akan menjadi acuan pada proses pengujian dari hasil deteksi dan perhitungan sperma. Ilustrasi dari pembuatan gambar *ground truth* pada *frame* 30 dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Ilustrasi Pembuatan *Ground Truth Image*

4.3. Proses *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 4.4.

1	—	273	1	4	7	4	1
1	—	273	4	16	26	16	4
1	—	273	7	26	41	26	7
1	—	273	4	16	26	16	4
1	—	273	1	4	7	4	1

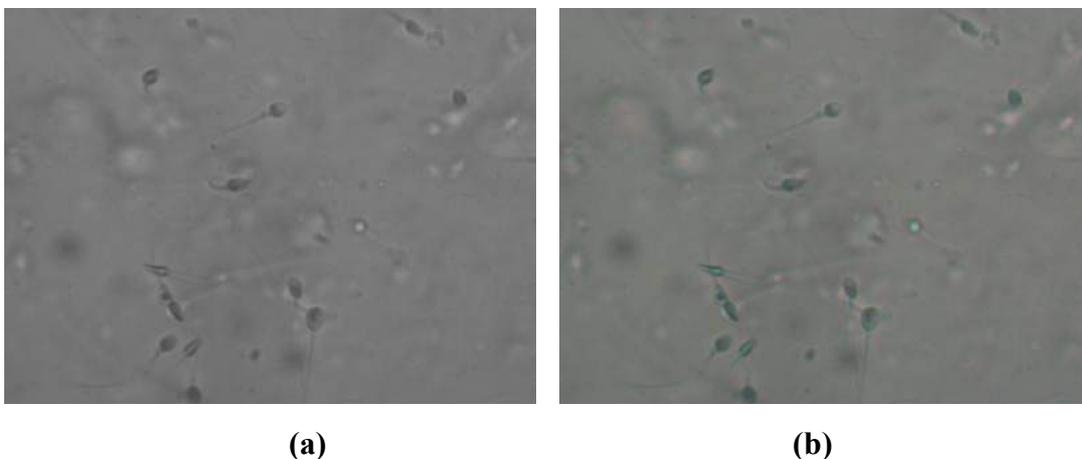
Gambar 4.4. Kernel *Gaussian* 5x5

Input dari *preprocessing* ini merupakan *frame* video dari cairan semen yang diamati. Contoh *frame* dari data video sperma yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a), dan hasil dari *preprocessing* dapat dilihat pada Gambar 4.5 (b).

Hasil dari *preprocessing* dapat dilihat pada Gambar 4.5 (b). Proses *preprocessing* ini bertujuan untuk menghilangkan *white noise* yang muncul dari kamera, mensamarkan gambar, dan mengurangi detail dari gambar.

4.4. Proses *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.



Gambar 4.5. (a) *Frame Asli dari Video Sperma* (b) *Frame Setelah proses preprocessing*

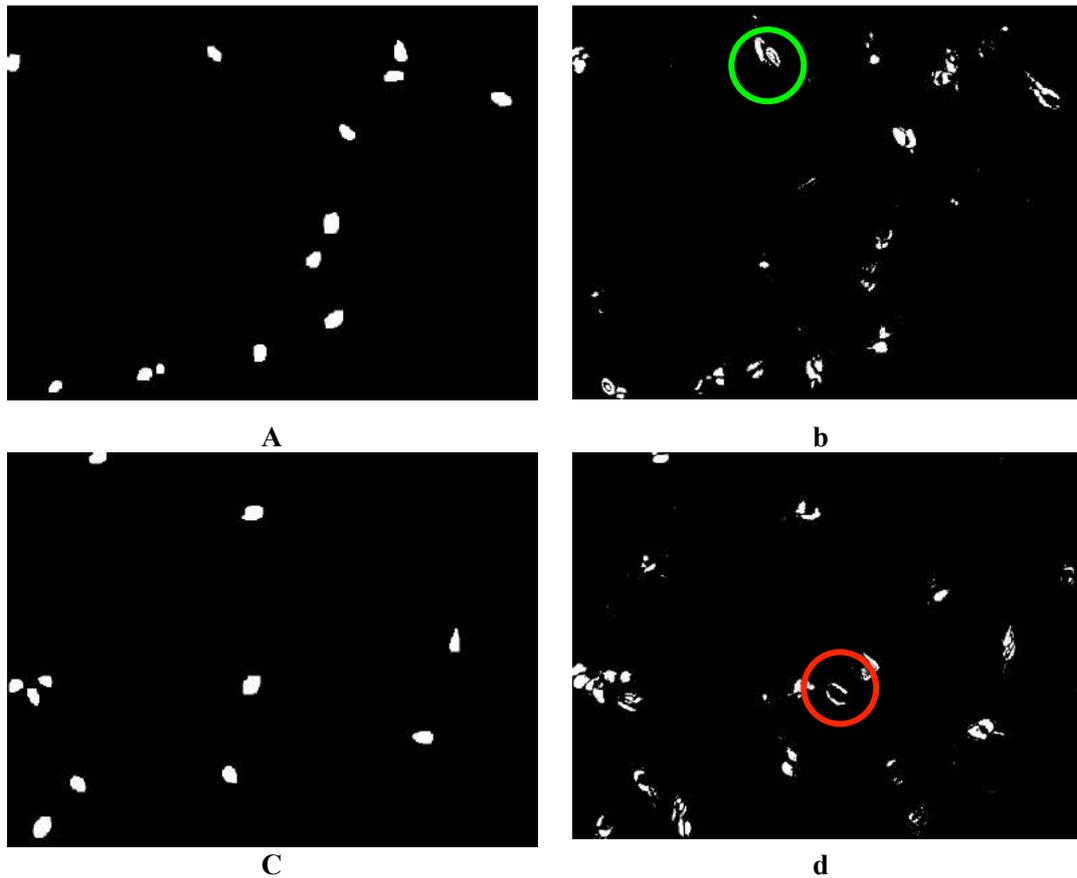
4.4.1 Pengujian Basic Model

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:

4.4.1.1. *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.

Model *background* dari algoritma ini diambil dari *frame* sebelum *current frame*. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.6. Dalam lingkaran hijau 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.



**Gambar 4.6. (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Frame Difference* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Frame Difference* pada *Frame* ke 570
(Hasil Lengkap Pada Lampiran 2-a)**

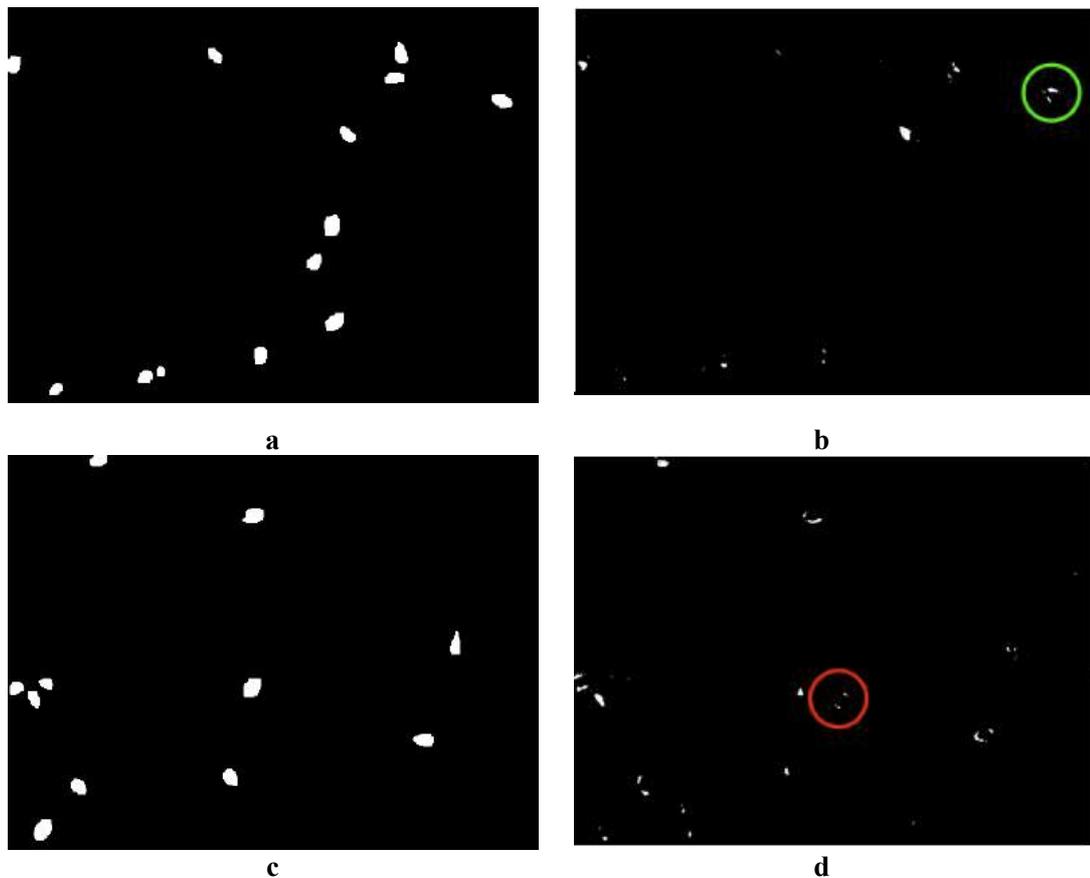
4.4.1.2. *Weighted Moving Mean*

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 $w_3 = 0.2$.

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 4.7.

Pada lingkaran merah dalam Gambar 4.7 (b) dan (d), dapat dilihat bahwa objek *background* yang bergerak masih terdeteksi dan memiliki daerah yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* dari algoritma *Frame Difference*. Pada lingkaran hijau, 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*.



Gambar 4.7. (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Mean* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (d) Hasil *foreground mask* algoritma *Weighted Moving Mean* pada *Frame* ke 570 (Hasil Lengkap Pada Lampiran 2-a)

4.4.1.3. *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 $w_3 = 0.2$. 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 4.8.

Gambar 4.8 (b) dan (d) 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 kecil jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* dari algoritma sebelumnya.

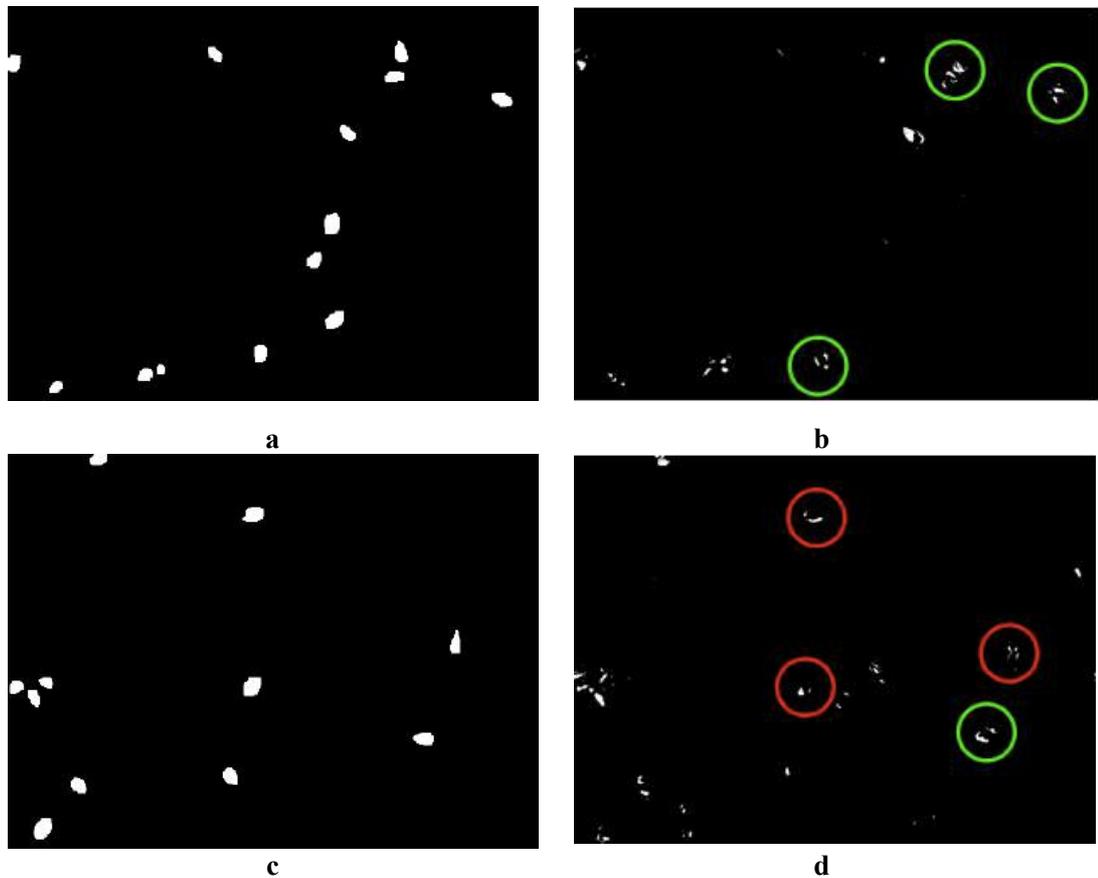
4.4.1.4. *Pengujian Basic Model Lainnya*

Basic model background subtraction lainnya yang digunakan dalam kasus deteksi sperma yang bergerak ini, adalah Algoritma *Adaptive Background Learning*, *Fuzzy Choquet Integral* dan *Wren Gaussian Average*. Dari hasil pengujian proses *background subtraction* ini dapat dilihat pada Lampiran 2.a.

4.4.2. *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:



Gambar 4.8. (a) Ground Truth pada frame ke 30, (b) Hasil foreground mask algoritma Weighted Moving Variance pada Frame ke 30, (c) Ground Truth pada frame ke 570, (d) Hasil foreground mask algoritma Weighted Moving Variance pada Frame ke 570 (Hasil Lengkap Pada Lampiran 2-a)

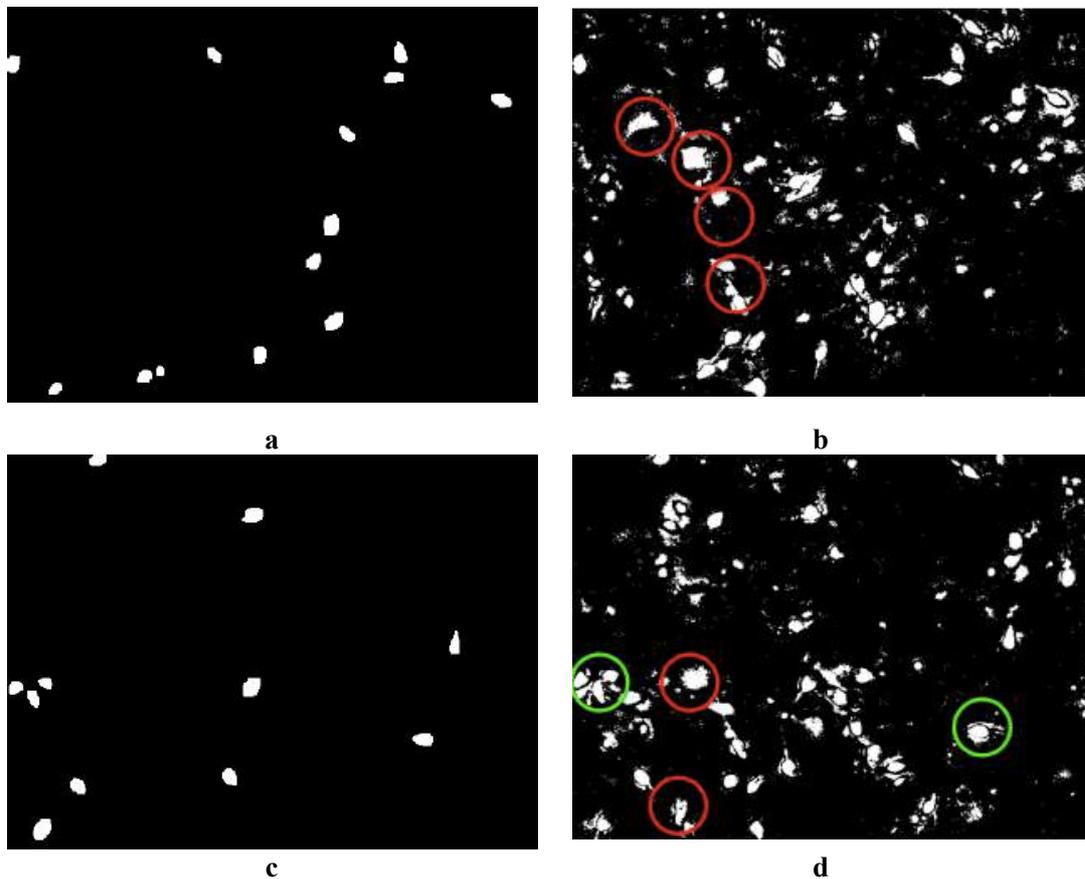
4.4.2.1. *Single Gaussian*

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.

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 4.9.

Hasil *foreground mask* dari algoritma ini menunjukkan bahwa, objek *background* yang bergerak terdeteksi sebagai *background*, melainkan tetap terdeteksi sebagai *foreground*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.9, bahwa ada daerah putih dalam lingkaran berwarna merah. Sperma bergerak yang terdeteksi dalam lingkaran hijau, terlihat terbelah dan masih memiliki *noise* yang muncul disekitarnya.

Jika diperhatikan pada *foreground mask*, masih ada *noise* yang muncul didalam *frame*, dan sperma bergerak yang terekstraksi juga terlihat belum sempurna bentuknya jika dibandingkan dengan hasil *foreground mask* dari algoritma *background subtraction* lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma ini masih belum sesuai dengan kondisi pada kasus deteksi sperma yang bergerak.



**Gambar 4.9. (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Single Gaussian* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Single Gaussian* pada *Frame* ke 570
(Hasil Lengkap Pada Lampiran 2-b)**

4.4.2.2 *Gaussian Mixture Model*

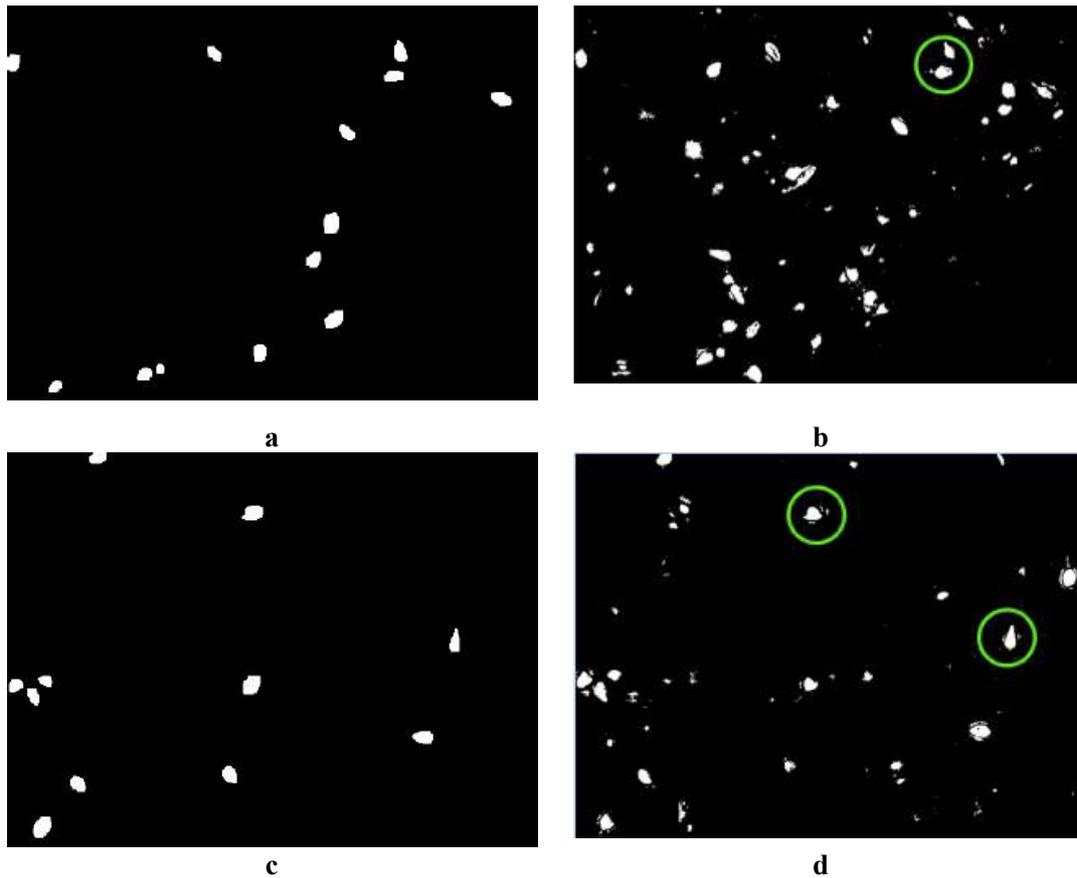
Untuk mengklasifikasi bahwa suatu piksel termasuk *background* atau *foreground*, algoritma ini memodelkan setiap piksel menggunakan *mixture of K Gaussian*. Dalam penelitian ini, banyaknya K dari Gaussian yang digunakan adalah 3. Nilai *learning rate* (α) yang digunakan dalam memperbarui nilai *weight* (ω) adalah sebesar 0.01. Besar nilai *threshold* (T) yang digunakan dalam aturan untuk menentukan model GMM yang termasuk *background* adalah 9. Hasil *foreground mask* sperma bergerak dari algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Objek sperma bergerak yang terekstraksi pada lingkaran hijau 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 bagian kepala sperma terlihat utuh dibandingkan dengan hasil pada algoritma *Single Gaussian*, dan pada algoritma ini sedikit *noise* yang muncul.

Objek *background* yang bergerak dalam algoritma ini masih terdeteksi sebagai *foreground*. Dapat dilihat pada lingkaran merah pada Gambar 4.10, terdapat daerah putih yang menandakan terdapat objek bergerak pada daerah tersebut.

4.4.2.3. *Kernel Density Estimation*

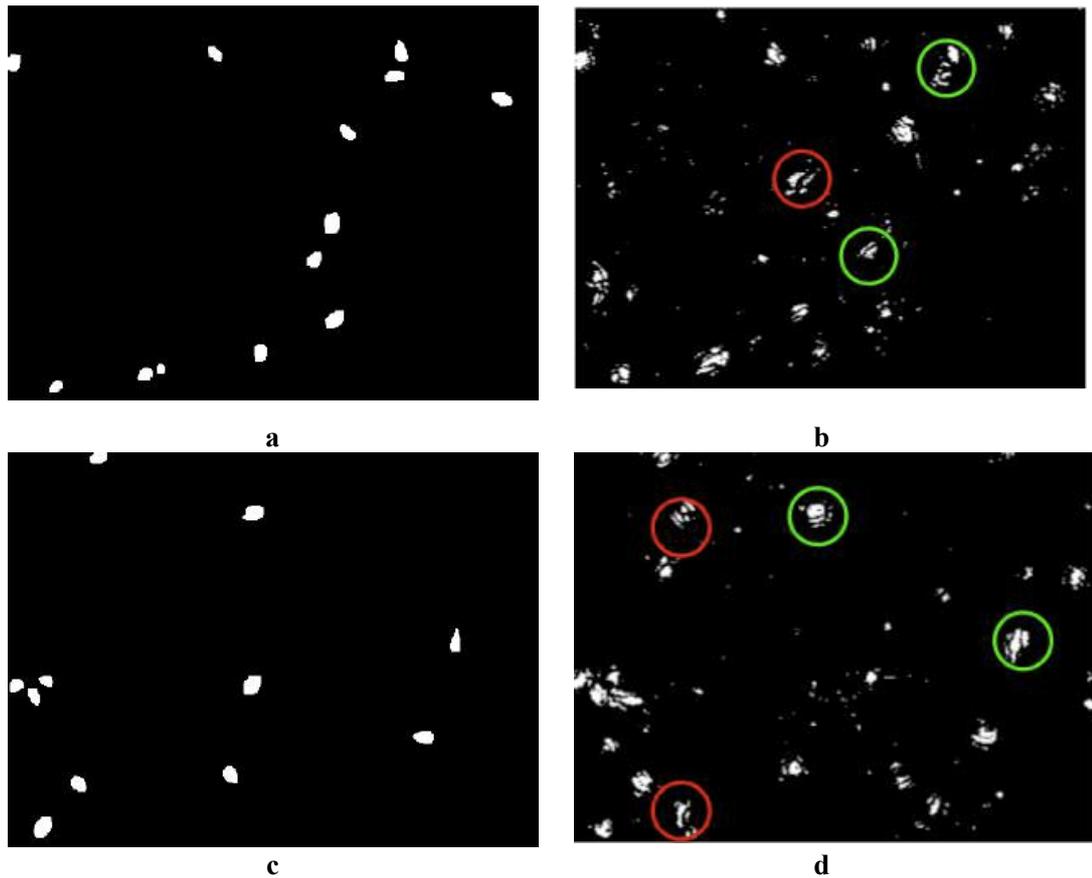
Algoritma ini mengestimasi *probability density function* untuk setiap piksel menggunakan *kernel estimator* K untuk sample terbaru sejumlah N dari pada nilai intensitas yang diambil secara berturut-turut pada *time size window* W . Dalam penelitian ini, model gambar *foreground* pertama kali dibentuk 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 $10e^{-8}$.



Gambar 4.10 (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Gaussian Mixture Model* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Gaussian Mixture Model* pada *Frame* ke 570 (Hasil Lengkap Pada Lampiran 2-b)

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 4.11.

Dalam *foreground mask* hasil dari algoritma ini, pada lingkaran merah dapat dilihat bahwa, objek *background* yang bergerak terdeteksi sebagai *foreground*. Dalam lingkaran merah terdapat daerah piksel putih, walaupun pada lingkaran merah bawah daerah berwarna putih hanya terlihat sedikit saja. Sperma bergerak yang terdeteksi dalam lingkaran hijau, terlihat terbelah menjadi beberapa bagian dan terdapat *noise* disekitarnya. Pada lingkaran kuning, sperma bergerak yang terdeteksi terlihat samar dan terlihat seperti objek yang tidak utuh dengan dikelilingi *noise*.



Gambar 4.11 (a) *Ground Truth* pada frame ke 30, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Kernel Density Estimation* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (b) Hasil *foreground mask* algoritma *Kernel Density Estimation* pada *Frame* ke 570 (Hasil Lengkap Pada Lampiran 2-b)

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.

4.4.2.4. Pengujian *Statistic Model* Lainnya

Statistic model background subtraction lainnya yang digunakan dalam kasus deteksi sperma yang bergerak ini, adalah Algoritma *MOG V1*, *MOG V2*, *Zivkovic GMM*, *T2FGMM_UV*, *Adaptive SOM*, *Fuzzy Adaptive SOM*, dan *Adaptive Selective Background Learning*. Dari hasil pengujian proses *background subtraction* ini dapat dilihat pada Lampiran 2.b.

4.5. Hasil Pengujian *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 4.12.

Morphological Operation yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Opening Operation* dilanjutkan dengan *Closing Operation*, atau secara berturut-turut input gambar-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.

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 4.12. Bentuk struktur element yang digunakan

Dan hasil dari *morphological operation* adalah *foreground mask* dimana *noise* yang muncul telah dihilangkan, dan objek sperma yang terdeteksi kembali utuh, sehingga

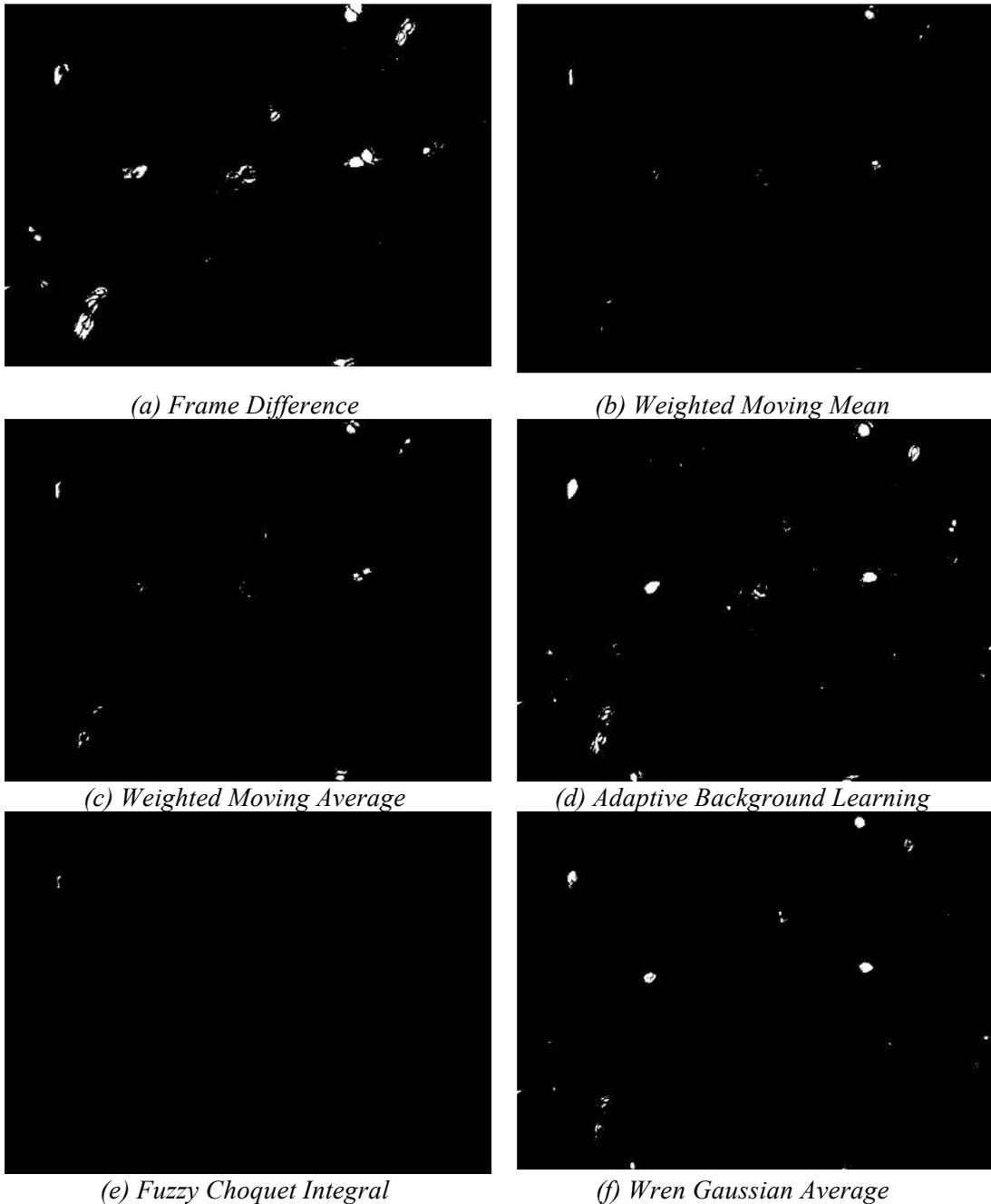
setiap BLOB (*binary large object*) yang ada merupakan representasi dari objek sperma yang bergerak pada *frame* video. Setiap algoritma *background subtraction* menghasilkan *foreground mask* yang berbeda-beda, dan hasil dari setiap *morphological operation* pada hasil dari setiap algoritma *background subtraction* dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

Pada Gambar 4.13, setelah *morphological operation* pada hasil *foreground mask* terlihat beberapa perbedaan diantara 6 (enam) metode basic background subtraction (*Frame Difference*, *Weighted Moving Mean*, *Weighted Moving Average*, *Adaptive Background Learning*, *Fuzzy Choquet Integral* dan *Wren Gaussian Average*). Pada algoritma *adaptive background learning* 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.

Pada Tabel 4.1. terlihat hasil perbandingan pelacakan pergerakan spermatozoa dari ke enam algoritma *basic background subtraction* pada *frame* ke 120. Pada *frame* tersebut terlacak 7 (tujuh) sperma oleh ahli, jika dibandingkan dengan hasil pengujian *Adaptive Background Learning* yang paling mendekati dengan perhitungan ahli.

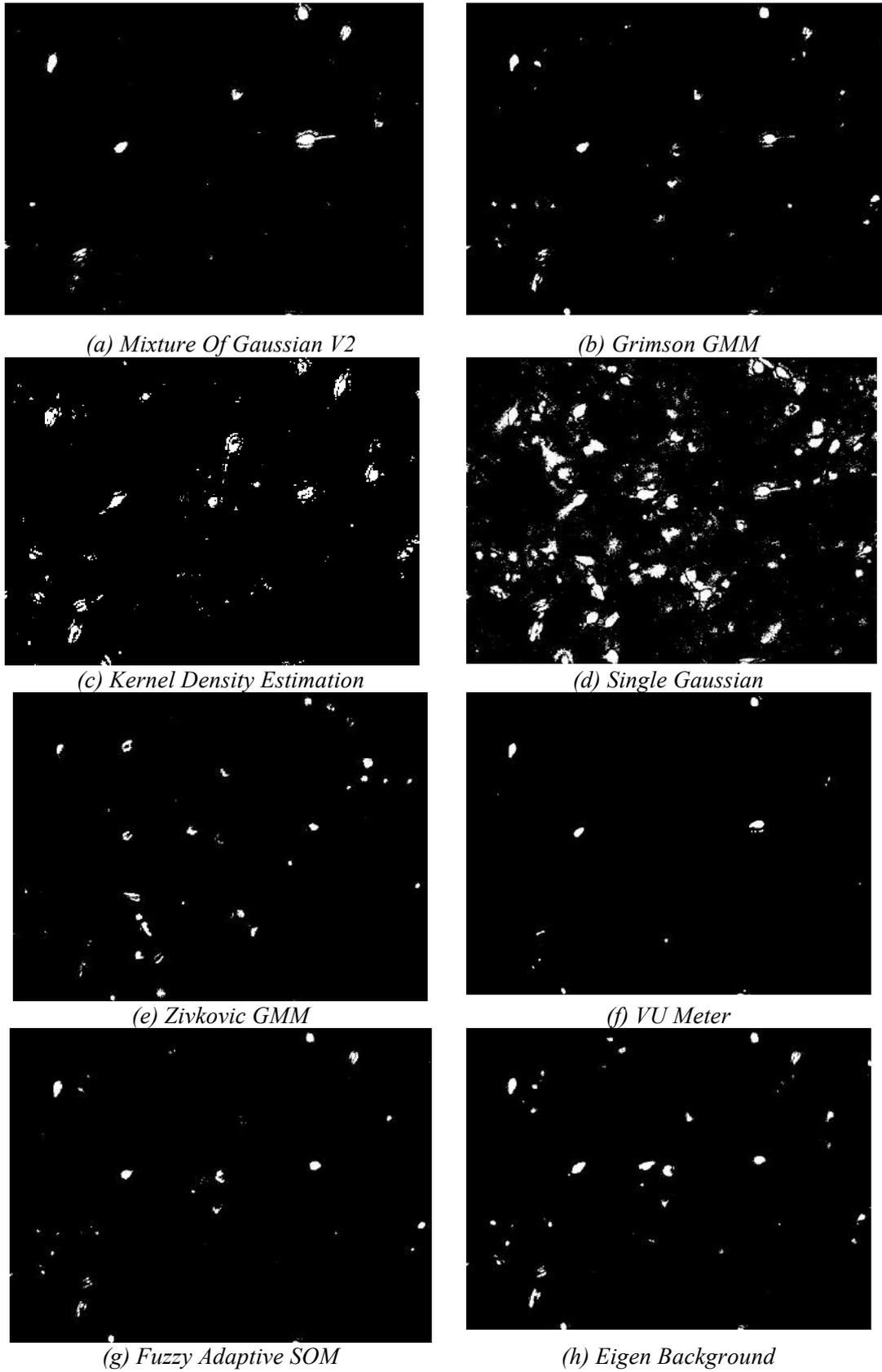
Tabel 4.1. Contoh perbandingan hasil pelacakan spermatozoa setiap algoritma *Basic background subtraction* pada *frame* ke 120

Nama Metoda	<i>TP</i>	<i>FN</i>	<i>FP</i>	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F-Measure</i>
<i>Frame Difference</i>	7	0	3	0,7	1,00	0,82
<i>Weighted Moving Mean</i>	2	5	0	1	0,29	0,44
<i>Weighted Moving Average</i>	3	4	0	1	0,43	0,60
<i>Adaptive Background Learning</i>	6	1	0	1	0,86	0,92
<i>Fuzzy Choquet Integral</i>	0	7	0	-	0,00	-
<i>Wren Gaussian Average</i>	4	3	0	1	0,57	0,73



Gambar 4.13. Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* untuk *Basic Background Subtraction Method*

Pada Gambar 4.14. adalah 8 (delapan) algoritma *statistical background subtraction* yang hasil pengujiannya mendekati hasil pembacaan ahli. Dari ke delapan algoritma tersebut dapat dilihat bahwa *Mixture Of Gaussian V2* paling mendekati hasil pembacaan ahli.



Gambar 4.14. Hasil *foreground mask* setelah *morphological operation* pada 8 Algoritma *Statistical Background Subtraction*

Pada Gambar 4.14. setelah proses *morphological operation* hasil *foreground mask* dari algoritma *Mixture Of Gaussian V2* (Gambar 4.14.a) 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. Untuk membandingkan hasil pengujian 15 (lima belas) algoritma tersebut dengan hasil pembacaan ahli, terlihat pada Tabel 4.2.

Pada Tabel 4.2. terlihat hasil perbandingan pelacakan pergerakan spermatozoa dari ke 15 algoritma *statistical background subtraction* pada *frame* ke 120. Pada *frame* tersebut terlacak 7 (tujuh) sperma oleh ahli, jika dibandingkan dengan hasil pengujian, *Mixture Of Gaussian V2* yang paling mendekati dengan perhitungan ahli.

Tabel 4.2. Contoh perbandingan hasil pelacakan spermatozoa setiap algoritma *Statistical background subtraction* pada *frame* ke 120

Nama Metoda	TP	FN	FP	Precision	Recall	F-Measure
<i>Single Gaussian</i>	7	0	46	0,13	1,00	0,23
<i>Grimson GMM</i>	7	0	4	0,64	1,00	0,78
<i>MOG V1</i>	1	6	0	1,00	0,14	0,25
MOG V2	7	0	1	0,88	1,00	0,93
<i>Zivkovic GMM</i>	7	0	7	0,50	1,00	0,67
<i>T2FGMM_UV</i>	7	0	18	0,28	1,00	0,44
<i>T2FMRF_UV</i>	2	5	0	1,00	0,29	0,44
<i>PBAS</i>	3	4	0	1,00	0,43	0,60
<i>VuMeter</i>	4	3	0	1,00	0,57	0,73
<i>Eigen Background</i>	7	0	7	0,50	1,00	0,67
<i>Adaptive SOM</i>	7	0	6	0,54	1,00	0,70
<i>Fuzzy Adaptive SOM</i>	8	0	2	0,80	1,00	0,89
<i>Adaptive Selective Background Learning</i>	4	3	0	1,00	0,57	0,73
<i>Independent Multimodal</i>	0	0	0	0,00	0,00	0,00
<i>Kernel Density Estimation</i>	7	0	8	0,47	1,00	0,64

4.6. Hasil Pengujian Deteksi dan Perhitungan Spermatozoa

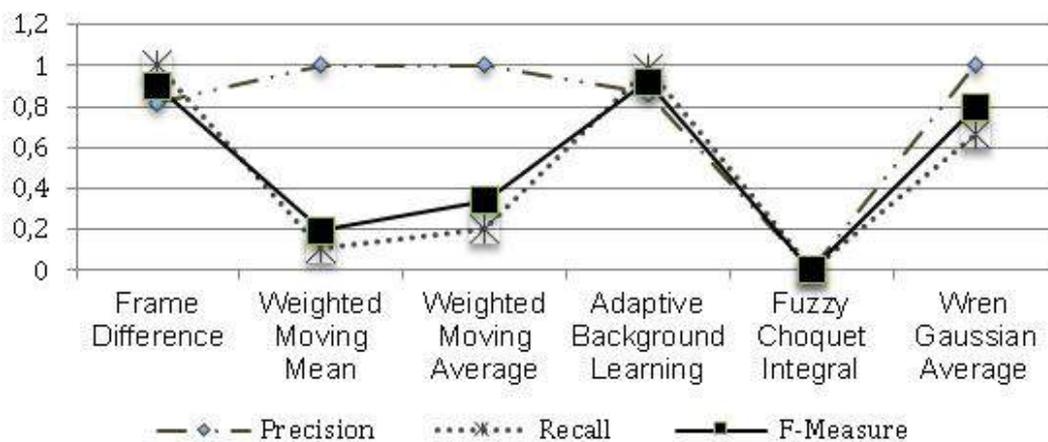
Setelah melalui proses *morphological operation*, diasumsikan bahwa *foreground mask* yang terbentuk sudah tidak memiliki *noise* dan objek sperma yang terpisah telah tersambung kembali. Sehingga setiap *BLOB (Binary Large Object)* yang ada pada *foreground mask* merupakan representasi dari objek sperma 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 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. Dari hasil deteksi dan perhitungan sperma serta hasil pengujiannya, 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 Lampiran 2.C. yang merupakan hasil visualisasi dari hasil deteksi dan perhitungan sperma pada algoritma yang digunakan, serta menunjukkan hasil perbandingan antara hasil deteksi dan perhitungan sperma algoritma yang digunakan dengan gambar *ground truth*

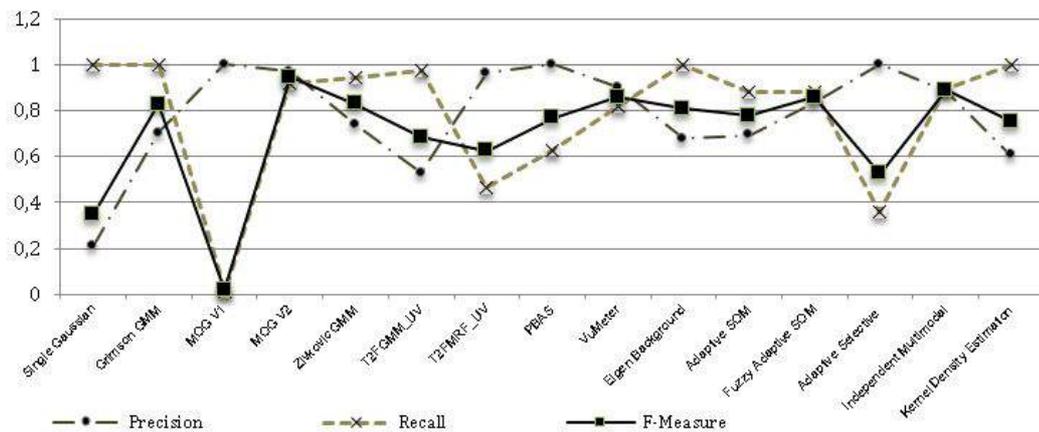
Dan hasil perbandingan nilai *f-measure* yang disajikan pada Tabel 4.3, dalam bentuk grafik, dapat dilihat pada Gambar 4.15. dan Gambar 4.16.

Tabel 4.3. Hasil dari *precision*, *recall*, dan *f-measure* dari setiap algoritma *background subtraction*

No	Method Name	Precision	Recall	F-Measure
1	Frame Difference	0.8175	1	0.8995
2	Weighted Moving Mean	1	0.1071	0.1935
3	Weighted Moving Average	1	0.2053	0.3407
4	Adaptive Background Learning	0.8661	0.9821	0.9205
5	Fuzzy Choquet Integral	0	0	0
6	Wren Gaussian Average	1	0.6607	0.7956
7	Single Gaussian	0.2117	1	0.3494
8	Grimson GMM	0.7044	1	0.8265
9	MOG V1	1	0.0089	0.0176
10	MOG V2	0.9716	0.9196	0.9449
11	Zivkovic GMM	0.7412	0.9464	0.8313
12	T2FGMM_UV	0.5291	0.9723	0.6855
13	T2FMRF_UV	0.9629	0.4642	0.6265
14	PBAS	1	0.625	0.7692
15	VuMeter	0.9019	0.8214	0.8598
16	Eigen Background	0.6787	1	0.8086
17	Adaptive SOM	0.6923	0.8839	0.7764
18	Fuzzy Adaptive SOM	0.8365	0.8787	0.8571
19	Adaptive Selective Background Learning	1	0.3571	0.5263
20	Independent Multimodal	0.8869	0.8947	0.8908
21	Kernel Density Estimation	0.6054	1	0.7542



Gambar 4.15. Grafik *f-measure* dari algoritma *Basic Model*



Gambar 4.16. Grafik *f-measure* dari algoritma *Statistic Model*

4.7. Ringkasan Hasil

Dari 21 algoritma yang digunakan untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan terhadap objek sperma bergerak pada video (*Basic* dan *Statistical background subtraction*), algoritma *Mixture Of Gaussian V2* pada proses *background subtraction* mampu digunakan untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan terhadap objek sperma bergerak pada video, dengan hasil *foreground* yang memiliki sedikit noise, objek *background* bergerak pada video tidak terdeteksi sebagai *foreground* objek, dan bentuk sperma dapat terekstraksi lebih sempurna. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dalam melakukan deteksi dan perhitungan terhadap sperma bergerak algoritma *Mixture Of Gaussian V2* memiliki nilai *f-measure* sebesar 0.9449. Hasil ini merupakan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan algoritma *background subtraction* lain yang dicoba. Ini menunjukkan bahwa algoritma *Mixture Of Gaussian V2* sesuai untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma bergerak dengan berhasil mengatasi tantangan dan keuntungan yang ada pada kasus ini. Nilai *f-measure* dari algoritma *Adaptive Background Learning* sebesar 0.9205. Beda nilai antara algoritma *Mixture Of Gaussian V2* dengan *Adaptive Background Learning* hanya 0.0244, hal ini memperlihatkan bahwa *basic model background subtraction* juga mampu untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma yang bergerak.

Keterangan:

Publikasi yang dihasilkan dari topik ini, yaitu:

I G. Susrama Masdiyasa, I. D. G. Hari Wisana, I. K. Eddy Purnama, and M. Hery Purnomo, (2018) ‘Modified Background Subtraction Statistic Models for Improvement Detection and Counting of Active Spermatozoa Motility’, *Lontar Komputer Journal*. International Association of Engineers. VOL. 9, NO. 1, APRIL 2018, DOI: 10.24843/LKJITI.2018.v09.i01.p04

BAB 5

PENENTUAN ABNORMALITAS PERGERAKAN SPERMATOOZA BERDASARKAN LINTASAN

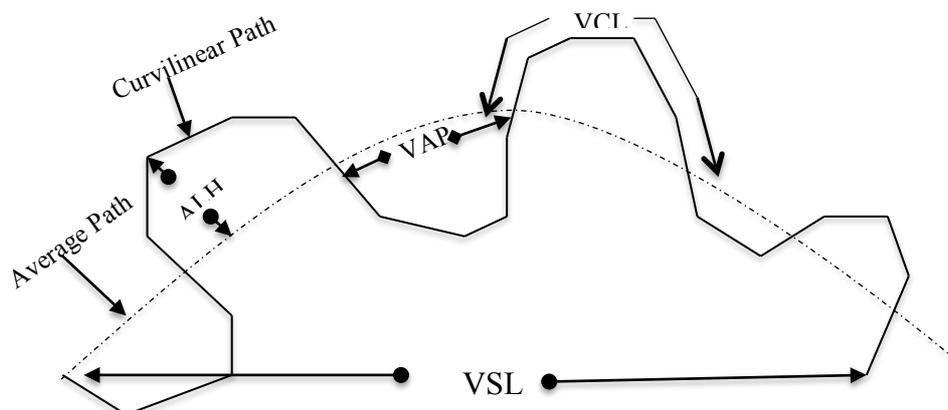
5.1. Fitur-fitur Pola Pergerakan Spermatozoa Manusia

Tinggi rendahnya abnormalitas spermatozoa sangat mempengaruhi fertilitas pria (suami) dalam proses fertilisasi di dalam saluran reproduksi wanita (istri). Namun demikian, disamping abnormalitas semen pria, pola pergerakan spermatozoa juga sangat menentukan fertilitas pria. Hal ini sangat penting untuk proses kapasitas di dalam saluran organ reproduksi wanita. Pola pergerakan dan jarak yang ditempuh oleh spermatozoa di dalam saluran organ reproduksi wanita, dalam menunjang fertilitas tinggi harus dapat mencapai target tempat fertilisasi, dan mempunyai kemampuan memfertilisasi sel telur (Haryati, 2017)

Evaluasi menggunakan CASA dapat diketahui persentase total spermatozoa motil dan progresif serta dapat memberikan informasi karakteristik spermatozoa motil yang lengkap seperti *distance average path* (DAP), *distance curvilinear* (DCL), *distance straight line* (DSL), *velocity average path* (VAP), *velocity curvilinear* (VCL), *velocity straight line* (VSL), *straightness* (STR), *linearity* (LIN), *wobble* (WOB), *amplitude of lateral head displacement* (ALH), dan *beat cross frequency* (BCF) (Nurul, 2018). Dari ke 13 karakteristik motilitas spermatozoa tersebut yang paling sering dilaporkan adalah total motil, progresif motil, dan VCL (Kostaman dan Setioko, 2011). Pengertian masing-masing parameter motilitas spermatozoa dengan menggunakan CASA adalah sebagai berikut (Park, 2013) :

- a. *Distance average path* (DAP) : jarak (mikron) dari rata-rata jalan sel sperma dari awal sampai akhir masa analisis.
- b. *Distance curvilinear* (DCL) : jarak yang dapat ditempuh oleh sperma dalam satu detik pada lintasan curve dari awal sampai akhir periode analisis (mikron).
- c. *Distance straight line* (DSL) : jarak yang ditempuh sperma dalam satu garis lurus dari frame pertama ke frame terakhir masa analisis.

- d. *Velocity average path* (VAP) : kecepatan rata-rata sel sperma bergerak melintas dari awal sampai akhir periode analisis yang diukur dalam mikron per detik.
- e. *Velocity curvilinear* (VCL) : kecepatan rata-rata sel sperma bergerak melintas garis melengkung dari awal sampai akhir periode analisis yang diukur dalam mikron per detik.
- f. *Velocity straight line* (VSL) : kecepatan sel sperma bergerak pada garis lurus dari awal sampai akhir periode analisis yang diukur dalam mikron per detik
- g. *Straightness* (STR) : VSL/VAP adalah hubungan antara kecepatan dari garis lurus dengan kecepatan pada rata-rata alurnya selama periode pengukuran
- h. *Linearity* (LIN) : VSL/VCL adalah hubungan antara kecepatan garis lurus dan kecepatan garis melengkung selama periode pengukuran.
- i. *Wobble* (WOB) : VAP/VCL adalah hubungan antara rata-rata kecepatan jalan dengan kecepatan garis melengkung selama periode pengukuran.
- j. Rata-rata perubahan orientasi (AOC) : rata-rata perubahan orientasi kepala dari sel sperma antara frame selama periode pengukuran diukur dalam derajat.
- k. *Beat cross frequency* (BCF) : kecepatan di ukur dalam Hertz (Hz) bahwa kepala sel sperma bergerak dari sisi ke sisi selama periode pengukuran.
- l. *Amplitude of lateral head displacement* (ALH) : besarnya lateral perpindahan kepala sperma tentang jalur rata-rata (mikron). Hal ini dinyatakan sebagai perpindahan maksimum.



Gambar 5.1. Kecepatan dan Gerak Spermatozoa

Dari beberapa parameter, *velocity* (VCL, VAP, VSL), *linearitas* (LIN), dan *distance* (DCL, DAP, DSL) yang menjadi parameter penilaian dalam penelitian.

5.1.1. Kecepatan Spermatozoa

Kecepatan gerak suatu benda adalah besarnya perubahan jarak yang ditempuh dalam waktu tertentu. Spermatozoa yang bergerak dalam video dapat pula dihitung kecepatannya, karena pergerakan spermatozoa tersebut direkam posisinya selama kurun waktu tertentu. Pergerakan keseluruhan spermatozoa tersebut dipandang sebagai jumlahan dari gerakan parsial spermatozoa dalam tiap *frame*-nya. Dimana perubahan posisi spermatozoa tiap *frame* dapat dipandang sebagai pergerakan obyek pada koordinat kartesian x-y karena spermatozoa bergerak pada lapisan yang sangat tipis, jarak perubahan posisi spermatozoa per-*frame* dapat dihitung menggunakan rumus jarak *Euclidean*:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (5.1.)$$

Untuk koordinat kartesian dua dimensi nilai n maksimal 2. Dari pergerakan per-*frame* tersebut didapatkan total lintasan spermatozoa sepanjang satu sekuen video. Dimana pada penelitian ini kecepatan spermatozoa yang dicari adalah VCL dan VSL Gambar 5.1. Dimana VCL adalah kecepatan spermatozoa sepanjang lintasan selama satu sekuen video. Dan VSL adalah kecepatan spermatozoa dengan menarik garis lurus antara awal dan akhir.

$$VCL = \frac{\sum_{i=1}^n d}{t} \quad (5.2.)$$

t adalah waktu yang dihabiskan selama satu sekuen, dan d adalah jarak *euclidean* perpindahan spermatozoa pada *frame* yang berturutan.

$$VSL = \frac{\sum_{awal}^{akhir} d}{t} \quad (5.3.)$$

5.1.2. Identifikasi Spermatozoa

Identifikasi motilitas spermatozoa (Gloyer, 2011) berdasarkan VSL dan LIN menjadi 4 *class* dilakukan setelah nilai perhitungan VSL dan LIN didapatkan. Dimana LIN adalah nilai perbandingan antara VCL dan VSL.

$$LIN = \frac{VSL}{VCL} \quad (5.4.)$$

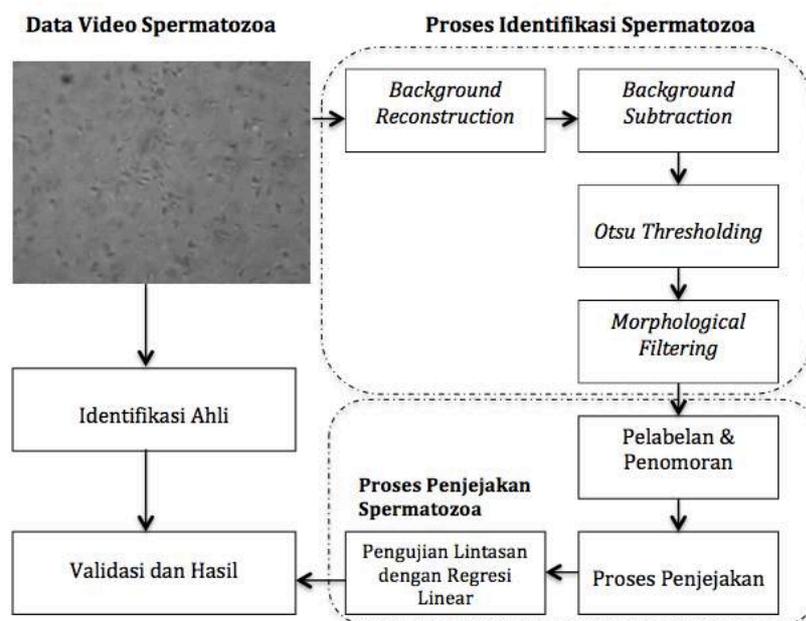
LIN jika dinyatakan dalam prosentase akan memberikan prosentase bentuk linieritas lintasan spermatozoa. Variabel-variabel ini kemudian diidentifikasi berdasarkan Tabel 5.1. untuk membedakan masing-masing spermatozoa.

5.2. Proses Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Dengan Regresi Linear

Penentuan tingkat keaktifan dari sperma dapat dilihat dari dua fitur yaitu kecepatan pergerakan dan pola pergerakan, seperti pada Gambar 5.1. Untuk mendapatkan kedua fitur ini maka perlu dilakukan penjejakan terhadap pergerakan setiap spermatozoa. Penyelesaian kasus ini bisa dilakukan dengan menggunakan serangkaian metode untuk mendeteksi pergerakan objek secara umum seperti pada Gambar 5.2.

Tabel 5.1. Identifikasi Spermatozoa (J. Elia, 2010)

Kelas motilitas	Karakterisasi
<i>Class 1</i>	$VSL \geq 23\mu\text{m/s}$ dan $LIN \geq 0,58$
<i>Class 2</i>	$23\mu\text{m/s} > VSL > 10 \mu\text{m/s}$ dan $LIN \geq 0,58$
<i>Class 3</i>	$VSL > 10 \mu\text{m/s}$ dan $LIN < 0,58$
<i>Class 4</i>	$VSL \leq 10 \mu\text{m/s}$



Gambar 5.2. Blok Diagram Proses Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Berbasis Regresi Linear

Tahap pertama yang dilakukan adalah dengan melakukan ekstraksi *frame*, kemudian dilakukan penentuan perbedaan temporal antar *frame* untuk mendapatkan segmentasi pergerakan spermatozoa. Pada citra hasil segmentasi pergerakan dilakukan penghilangan *noise* berupa spot-spot kecil. Sisanya adalah area-area yang seharusnya spermatozoa.

Proses selanjutnya adalah dengan melakukan penjejakan terhadap spermatozoa-spermatozoa ini pada *frame-frame* berikutnya dari video spermatozoa. Saat penjejakan bisa dihitung kecepatan pergerakan spermatozoa. Disamping itu pola pergerakannya dan lintasan pergerakan juga direkam.

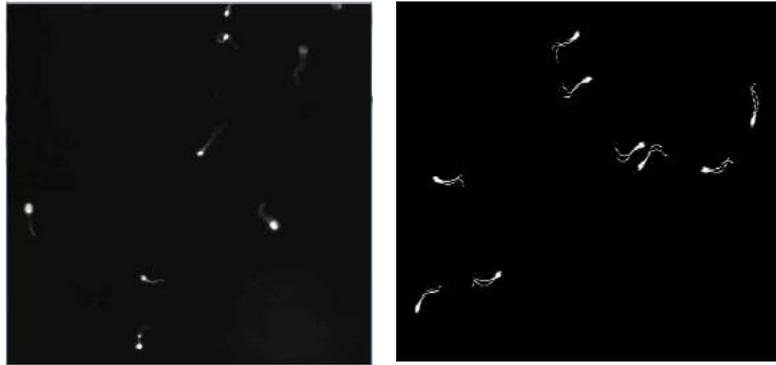
Tahap berikutnya adalah melakukan ekstraksi fitur-fitur dari kecepatan, pola pergerakan, dan lintasan. Pada penelitian ini akan difokuskan pada penjejakan terhadap spermatozoa dan menganalisa lintasannya. Karena penjejakan dilakukan pada sebuah video, maka kecepatan pergerakan spermatozoa memungkinkan untuk dihitung.

5.3. Pengujian Identifikasi Pergerakan Spermatozoa Dengan Regresi Linear

Pengujian penjejakan pergerakan video *spermatozoa* pada penelitian ini menggunakan dua macam data: video rekaman motilitas spermatozoa manusia koleksi *UNSW embryology* dan video motilitas/pergerakan *spermatozoa* manusia yang direkam sendiri dari beberapa sperma relawan. Proses perekaman *spermatozoa*, sampel sperma ditetaskan pada *object glass* tanpa *cover glass* kemudian ditempatkan di bawah lensa objektif, dan kamera berkecepatan tinggi dihubungkan dengan laptop dengan koneksi menggunakan kabel USB 3.0 ditempat pada posisi sebagai pengganti lensa okuler

5.3.1. Akusisi Data Uji

Data uji digunakan untuk melihat kinerja penjejakan. Data uji yang dimaksud adalah video motilitas *spermatozoa* manusia yang diperoleh dari koleksi *UNSW Embryology* (Gambar 5.3). Video tersebut merupakan motilitas *spermatozoa* manusia normal dan responnya terhadap *photo release progesterone*.



Gambar 5.3. *Frame cuplikan video motilitas spermatozoa koleksi UNSW Embryology*

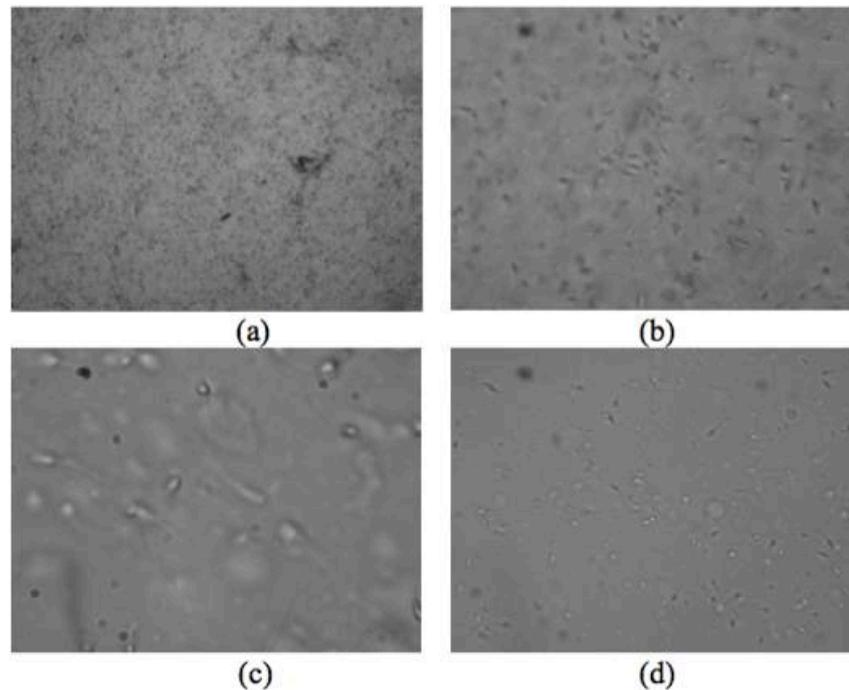
5.3.2. Akuisisi Data Spermatozoa Manusia

Perekaman motilitas *spermatozoa* manusia yang telah dipersiapkan dengan melakukan variasi kekentalan, perbesaran lensa objektif dan *frame rate* perekaman (*fps*) dilakukan untuk melihat hasil terbaik *spermatozoa* yang dapat dijejaki. Kecepatan gerak *spermatozoa* yang mencapai $35 \mu\text{m/S}$ dapat ditangkap dengan baik oleh kamera ketika diset pada kecepatan 60 fps. Meskipun kemampuan *frame rate* kamera untuk merekam bisa sampai 120 fps, akan tetapi karena terkendala spesifikasi perangkat komputer yang digunakan yang hanya mampu sampai 60 fps.

Pada Gambar 5.4.a. tampak ruang pandang sistem yang terekam melalui kamera setelah 10 menit cairan sperma dikeluarkan dengan pembesaran lensa objektif 10x.

Terlihat populasi *spermatozoa* tidak dapat bergerak dengan alami karena menemui hambatan dalam lintasannya (berupa *spermatozoa* lain atau objek lain). Di samping itu ukuran sel sperma yang terlihat sangat kecil, sehingga sulit untuk dilakukan pengamatan.

Dari Gambar 5.4.b. tampak ruang pandang sistem yang terekam melalui kamera setelah 10 menit cairan sperma dikeluarkan dengan pembesaran lensa objektif 40x. Terlihat populasi *spermatozoa* masih tidak dapat bergerak dengan alami karena menemui hambatan dalam lintasannya (berupa *spermatozoa* lain atau objek lain). Di samping itu ukuran dan bentuk sel sperma yang terlihat sudah bisa diamati dengan jelas.

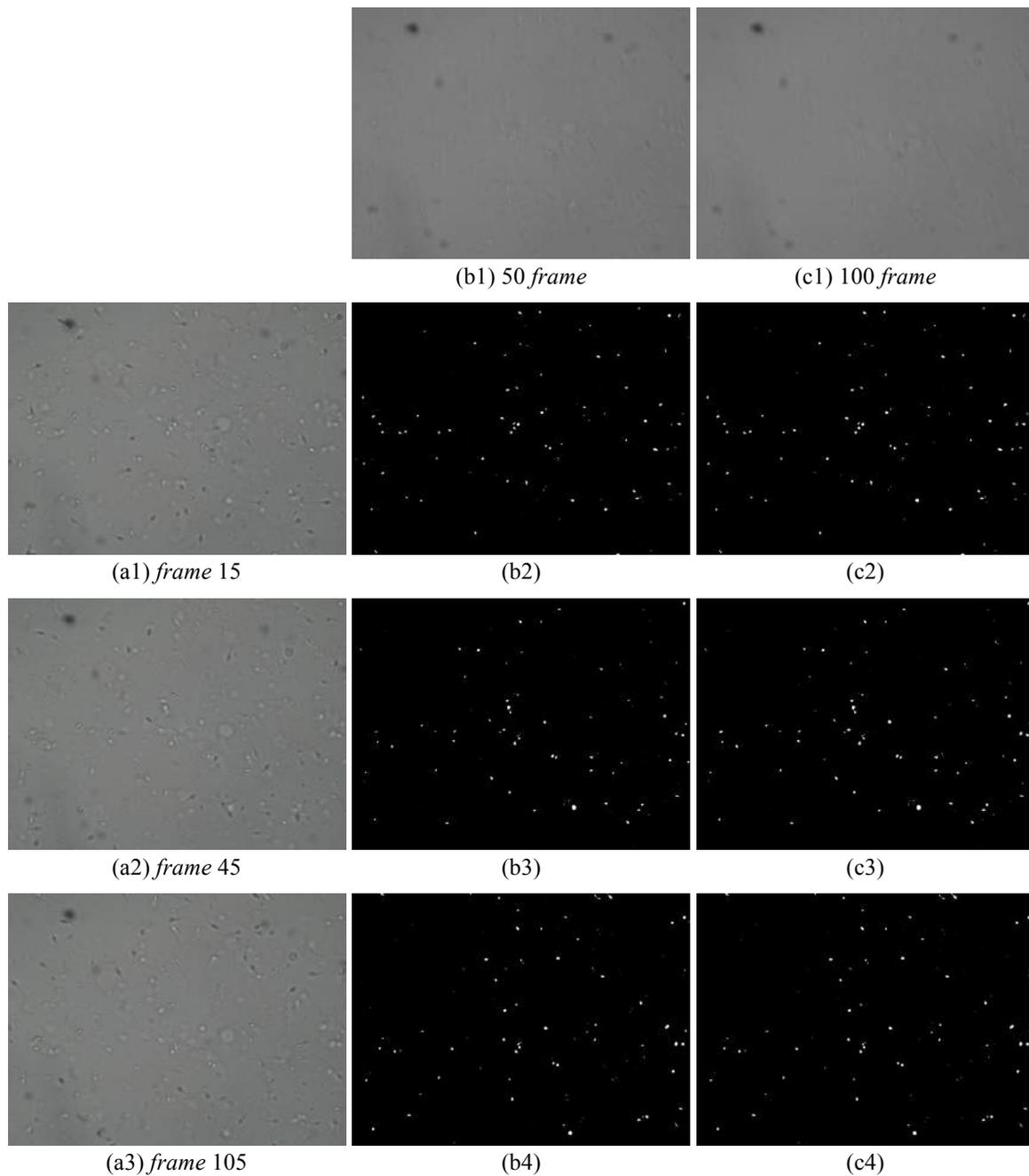


Gambar 5.4. a. *Frame* cuplikan video motilitas *spermatozoa* 10 menit setelah proses ejakulasi, lensa objektif 10x (b) lensa objektif 40x (c) lensa objektif 100x dan (d) *Frame* cuplikan video motilitas *spermatozoa* 30 menit setelah proses pengeluaran, lensa objektif 40x

Pada Gambar 5.4.c. kamera kurang fokus sehingga morfologi sperma terlihat kurang jelas bentuk kepala sampai ekor tidak dapat dikenali dengan baik. Perekaman pada gambar tersebut menggunakan lensa objektif 100x. Dengan durasi pendiaman pada suhu ruangan selama 30 menit setelah cairan sperma dikeluarkan, lalu dilakukan pengamatan menggunakan mikroskop dengan lensa objektif 40x. Hasil yang diperoleh dari pengamatan, terlihat bentuk morfologi dan motilitas sperma dapat terlihat dengan jelas. Bentuk kepala dan ekor serta pergerakan sperma jelas dapat diamati, seperti pada Gambar 5.4.d.

5.3.3. Uji Coba Pada *Background Reconstruction*

Percobaan ini dilakukan pada data video *spermatozoa* setelah pendiaman 30 menit dengan lensa objektif 40x. Video *spermatozoa* merupakan video dengan resolusi 1280 x 960 pixel tanpa kompresi video dengan format AVI, video ini mewakili kondisi motilitas sperma sebenarnya dan memiliki *frame* berjumlah 120 *frame*.



Gambar 5.5. Motilitas spermatozoa (a) adalah gambar asli hasil ekstraksi video, dimana (a1) adalah gambar *frame* ke 15, (a2) adalah *frame* ke 45 dan (a3) adalah *frame* ke 105. (b),(c) adalah gambar *background* hasil rekonstruksi

Pada Gambar 5.5., (a) merupakan *frame* dari video dengan (a1) adalah gambar *frame* ke-15, (a2) adalah *frame* ke-45 dan (a3) adalah *frame* ke-105. (b) merupakan hasil rekonstruksi *background* dengan mengambil 50 *frame* dari total 120 *frame*, *frame* dipilih dengan selang antar *frame* berjarak 1 *frame*. (b1) adalah *background* hasil rekonstruksi, (b2), (b3) dan (b4) merupakan hasil deteksi dan

segmentasi gerakan kendaraan, dimana (b2) bersesuaian dengan *frame* ke-15, (b3) bersesuaian dengan *frame* ke-45 dan (b4) bersesuaian dengan *frame* ke-105. (c1) merupakan hasil rekonstruksi *background* dengan mengambil 100 *frame* dengan selang antar *frame* berjarak 1 *frame*. (d1) merupakan hasil rekonstruksi *background* dengan mengambil keseluruhan *frame* yaitu 100 *frame*. Hasil *background* dan hubungannya dengan *frame* dalam video ditunjukkan dengan susunan seperti pada Gambar 5.5.

Dari Gambar 5.5., dapat dilihat bahwa jumlah *frame* yang dilibatkan untuk proses rekonstruksi *background* tidak banyak mempengaruhi hasil *background* yang didapatkan. Hasil *background* yang didapatkan menggunakan dengan hanya 50 *frame* atau 41,7% dari keseluruhan *frame* akan menghasilkan *background* yang hampir sama dengan hasil rekonstruksi menggunakan 87,5% dari keseluruhan *frame*

5.3.4. Proses *Background Subtraction* Untuk Mendapatkan Citra Biner

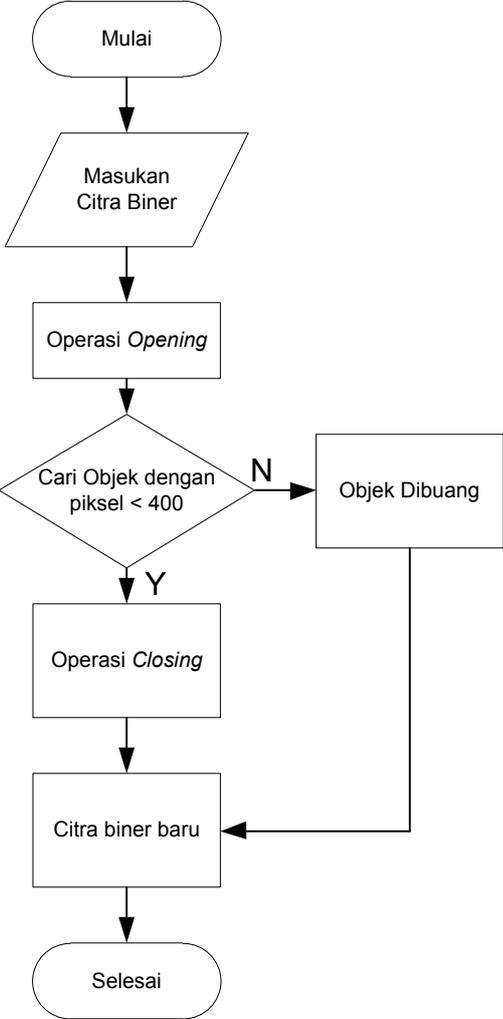
Pada tahapan ini dilakukan proses segmentasi untuk membedakan atau memisahkan objek yang diamati dengan latar belakangnya (*background*), sebagai hasil segmentasi berupa citra biner. Sebagai masukan untuk proses ini yaitu citra dari frame-frame hasil ekstraksi video dan frame rata-rata hasil proses *TABI*. Selanjutnya dilakukan proses *mean filter* yang menghasilkan nilai selisih nilai piksel yang bersesuaian koordinatnya untuk seluruh piksel. Kemudian dilanjutkan proses *thresholding* dengan metode *Otsu threshold*, di mana nilai selisih yang lebih kecil dari nilai *threshold*, maka nilai warna diubah menjadi 0 dan jika nilai lebih besar atau sama dengan dari nilai *threshold* maka nilai warna dirubah menjadi 1. Dengan demikian akan didapatkan citra biner.

5.3.5. Proses *Morphological Filtering*

Contour yang diperoleh dari hasil tahapan sebelumnya masih terdapat beberapa area putih kecil yang tidak dibutuhkan dalam proses penjejakan, karena area-area ini bukan merupakan spermatozoa. Area berukuran kecil hasil pencarian *contour* ini merupakan *noise* yang terdeteksi sebagai gerakan dari hasil *background subtraction*. *Noise* ini harus dihilangkan dengan cara menerapkan *Morphological Filtering*. Untuk dapat menghilangkan objek yang tidak diinginkan dengan objek yang diduga spermatozoa menggunakan *morphological filtering* caranya adalah

dengan melakukan segmentasi atau memisahkan antara area yang tidak diinginkan dengan area yang diinginkan berdasarkan dari luasan area tersebut seperti pada Gambar 5.6. *Morphological Filtering* dilakukan dengan memberikan nilai batas antara sperma dengan *noise*. Area yang nilainya berada dibawah nilai *threshold* dianggap *noise* dan dihilangkan, sedangkan area yang ukurannya lebih dari atau sama dengan nilai *threshold* dilewatkan atau tidak dihilangkan

Proses menggunakan *morphological filtering* pertama adalah membuang objek yang mempunyai piksel kurang dari 400 piksel. Untuk objek yang mempunyai jumlah piksel lebih dari 400 dipertahankan. Hasil dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 5.7 (a). Dalam gambar tidak lagi tampak titik-titik putih kecil karena telah dihilangkan dengan proses *morphological filtering*.



Gambar 5.6. Diagram alir proses *Morphological filtering*

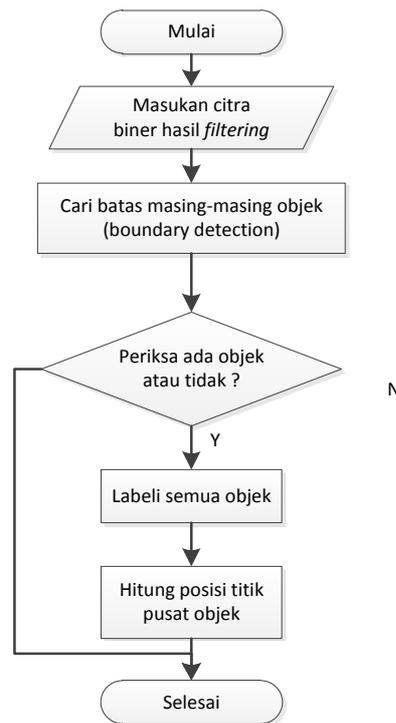


Gambar 5.7. (a) Hasil Proses *Morphological filtering*, (b) Hasil Proses *Gap Filling*

Kemudian dilakukan proses *Gap Filling* untuk menyatukan objek yang jaraknya berdekatan atau berada dalam satu area, menggunakan proses *closing*. *Closing* merupakan operasi morfologi citra yang dilakukan dengan cara operasi dilasi dilanjutkan dengan operasi erosi. Dilasi adalah operasi morfologi untuk membuat ukuran citra lebih tebal sedangkan erosi untuk membuat ukuran citra lebih tipis. Tujuan dari proses *closing* ini adalah menyambung objek yang terputus dan menutup lubang-lubang kecil pada objek. Hal ini dilakukan agar saat dilakukan penjejakan mendapatkan jumlah sel sperma yang akurat. Hasil dari proses *gap filling* dengan metode *closing* ini terlihat seperti pada Gambar 5.7 (b).

5.3.6. Labeling Objek dan Menghitung Koordinat Titik pusat Objek

Berdasarkan area-area yang telah diperoleh sebagai area yang dianggap sperma, kemudian dicari posisi tiap-tiap area ini dalam koordinat (x,y) . Caranya dengan menggunakan momen (*moment*). Momen dapat menggambarkan suatu objek dalam hal area, posisi, orientasi dan parameter terdefinisi lainnya. Dari Gambar 5.8. terlihat, setelah citra diperbaiki dengan proses *filtering*, berikutnya citra tersebut dicari batasnya menggunakan metode deteksi bidang batas (*boundary detection*) untuk masing-masing objek serta dilabeli untuk setiap objek yang ditemukan. Dari masing-masing objek yang ditemukan, kemudian dicari koordinat titik pusat dari objek (h, k) tersebut menggunakan persamaan (2.54).

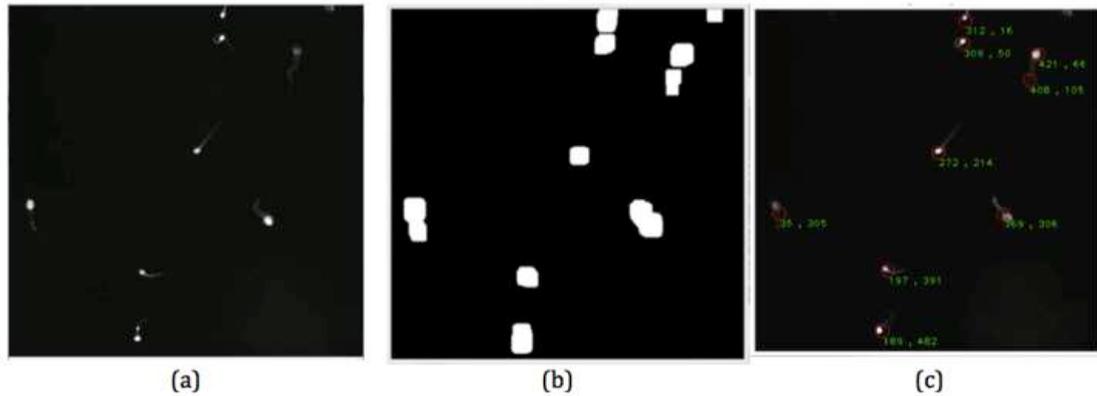


Gambar 5.8. Diagram alir untuk *labeling* objek dan koordinat titik pusat objek

5.3.7. Hasil Penjejakan spermatozoa Uji

Penjejakan dilakukan pada dua macam data, yakni data sperma manusia dan data uji, data uji adalah video ideal untuk penjejakan menggunakan Metode *TABI Background Substraction* dan *Mathematical Morphology*. Video tersebut memiliki kontras yang baik, jumlah *spermatozoa* yang cukup, dan tidak ada kotoran. Penjejakan pada data uji bertujuan untuk mengujikan metode yang digunakan sebelum digunakan pada data sperma manusia.

Data uji video motilitas *spermatozoa* manusia ini dengan durasi kurang lebih 13 detik dengan dimensi 512 x 512. Video ini ideal untuk dijadikan uji karena *spermatozoa* tampak menonjol dengan kontras yang tinggi dan tidak adanya kotoran. Terdapat berbagai macam motilitas *spermatozoa* dalam satu ruang pandang seperti misalnya, linier, berhenti kemudian maju, membelok, dan bertabrakan. Kemudian video ini dipotong hingga menjadi 120 *frame* saja dengan durasi 4 detik, seperti Gambar 5.9.



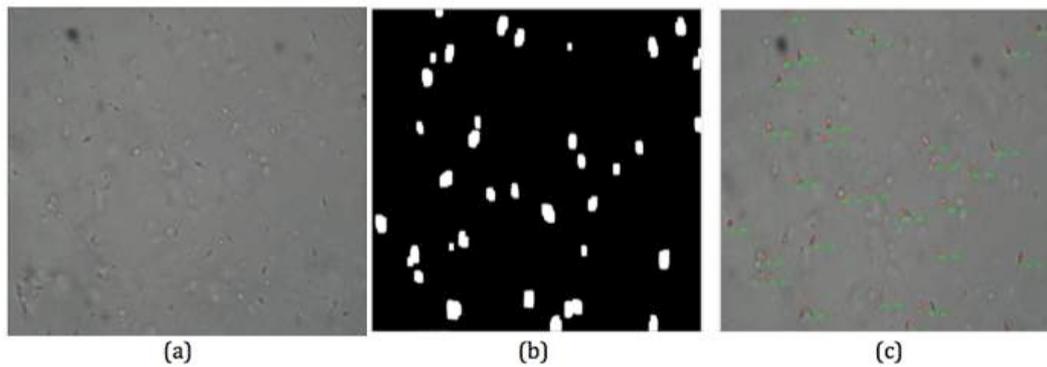
Gambar 5.9. (a) Gambar *frame* ke-120 video data uji, (b) Gambar biner dari *frame* ke-120 video data uji setelah proses, (c) Penjejakan *spermatozoa* video data uji *frame* ke-120

Setelah proses *background subtraction*, *thresholding* dan operasi morfologi diperoleh gambar biner seperti contoh pada Gambar 5.9.b. adalah gambar biner yang didapat dari *frame* ke-120. Proses penjejakan *spermatozoa* dapat dilakukan untuk semua objek yang tampak pada ruang pandang, yang dilakukan dari *frame* ke *frame* berikutnya. Pada Gambar 5.9.c. tampak penjejakan sperma pada *frame* ke-120

5.3.8. Hasil Penjejakan Spermatozoa Video Spermatozoa Manusia.

Video motilitas *spermatozoa* manusia ini dengan durasi kurang lebih 2 detik dengan dimensi 1280 x 960. Data video *spermatozoa* diperoleh setelah pendiaman 30 menit dengan lensa objektif 40x. Sebagaimana pada data uji, pada video ini juga dilakukan proses *background subtraction*, *thresholding* dan operasi morfologi diperoleh gambar biner seperti contoh pada Gambar 5.10.a. adalah gambar biner yang didapat dari *frame* ke-120

Penjejakan motilitas *spermatozoa* selama durasi pengamatan video diwakili oleh gerakan penanda, pusat posisi penanda ini direkam posisi x dan posisi y . kemudian dihitung regresi linier dan *RMS*. Motilitas *spermatozoa* selama 120 *frame* tersebut tanpa menabrak penghalang berupa kotoran. Sehingga penjejakan yang dilakukan adalah gerakan alami *spermatozoa* dan menghasilkan bentuk lintasan yang dapat dicari nilai regresi linier dan *root mean square* dari lintasan motilitas *spermatozoa*, seperti Gambar 5.10.

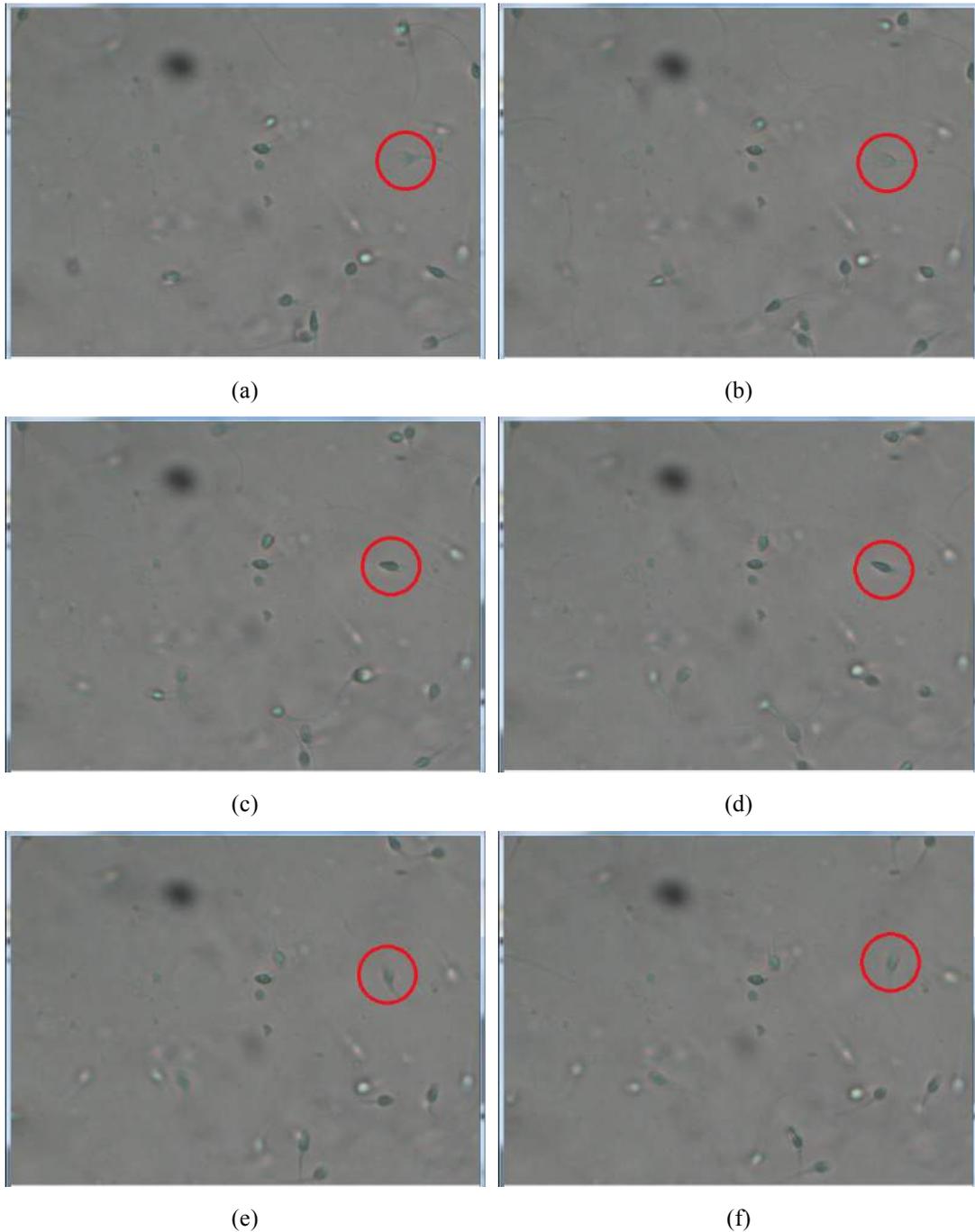


Gambar 5.10. (a) Gambar *frame* ke-120 video sperma manusia, (b) Gambar biner dari *frame* ke-120 video sperma manusia, (c) Penjejakan *spermatozoa* video sperma manusia *frame* ke-120

Selama pengamatan video *spermatozoa* manusia, ternyata objek sperma tidak terlihat terus selama durasi video yang diamati. Ada sperma yang tampak bergerak kurang jelas lalu pada *frame* berikutnya tampak jelas kemudian tampak dengan bentuk kepala berubah agak lonjong dan pada *frame* selanjutnya tampak kurang jelas lalu menghilang. Hal ini menunjukkan bahwa pergerakan sperma tidak mendatar tetapi naik turun dan bisa bergerak agak miring. Sebagai contoh pada Gambar 5.10. yang menunjukkan bahwa gerakan sperma tidak mendatar. Pada Gambar 5.10.(a) sperma terlihat jelas pada bagian leher dan ekor, pada (b) kepala sperma terlihat kurang jelas, di (c) kepala sperma terlihat jelas tetapi dengan ekor yang samar, kepala sperma terlihat agak pipih pada (d) bila dibandingkan dengan *frame* sebelumnya, serta pada (e) dan (f) sperma mulai terlihat kurang jelas lagi.

5.3.9. Analisa Perhitungan Regresi Linier

Variabel posisi yang direkam selama penjejakan motilitas *spermatozoa* merupakan penggambaran bentuk lintasan yang dilalui. Nilai *RMS* ditentukan dari sebaran posisi *spermatozoa* selama durasi video pengamatan terhadap garis liniernya. Semakin banyak posisi *spermatozoa* yang terletak dari garis linier, maka nilai *RMS* akan semakin tinggi. Dari sini diperoleh nilai *threshold* yang membedakan antara *spermatozoa* yang memiliki bentuk lintasan lurus maupun tidak.



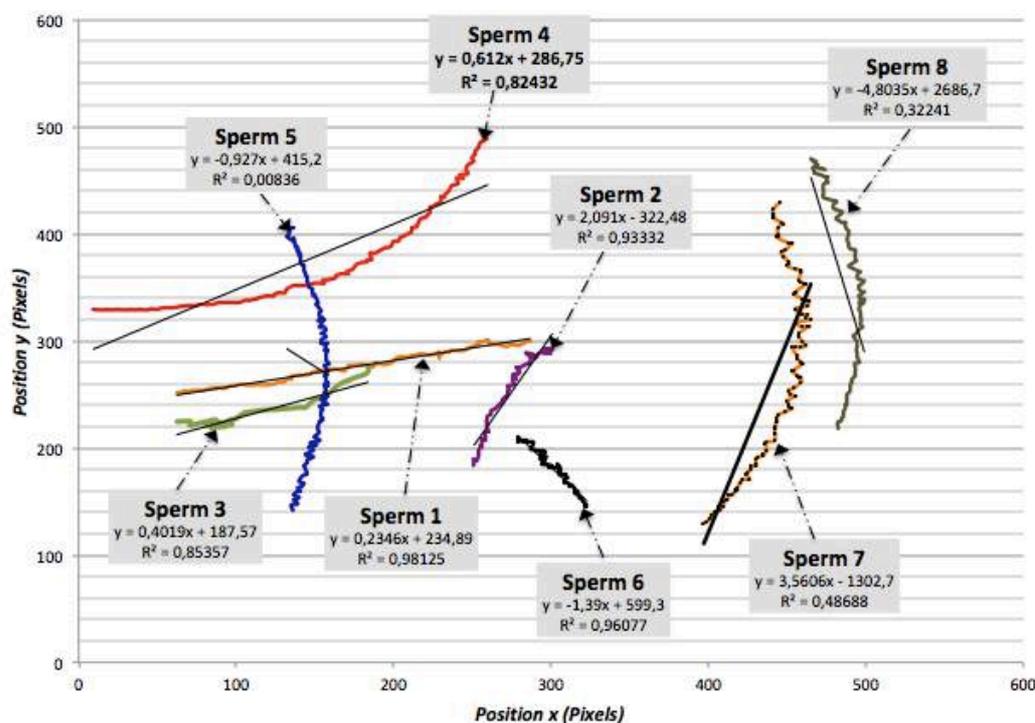
Gambar 5.11. Cuplikan 6 *frame* berurutan dengan kondisi satu sperma berbeda-beda, (a) posisi awal sperma, (b) posisi pada *frame* kedua, (c) posisi pada *frame* ketiga, (d) posisi pada *frame* keempat, (e) posisi pada *frame* kelima, (f) posisi pada *frame* keenam

Dari proses penjejakan *spermatozoa* baik menggunakan data sperma manusia maupun data uji diperoleh nilai posisi motilitas *spermatozoa* selama pengamatan dalam koordinat sumbu x dan y , ditunjukkan pada Tabel 5.2. Dan Tabel 5.3. dimana m pada kedua tabel tersebut adalah banyaknya *frame*/sperma, dengan jumlah data sperma uji sebanyak 8 dan jumlah data sperma manusia sebanyak 14 (data lengkap

pada Lampiran 3). Banyaknya *frame* setiap sperma jumlahnya berbeda-beda tergantung pada video pergerakan sperma/layang pandang. Dari hasil penjejakan pada Tabel 5.2. dan 5.3. diperoleh plot yang menggambarkan bentuk lintasan *spermatozoa* seperti pada Gambar 5.12. dan Gambar 5.13.

Tabel 5.2. Posisi Sperma Data Uji Selama Penjejakan

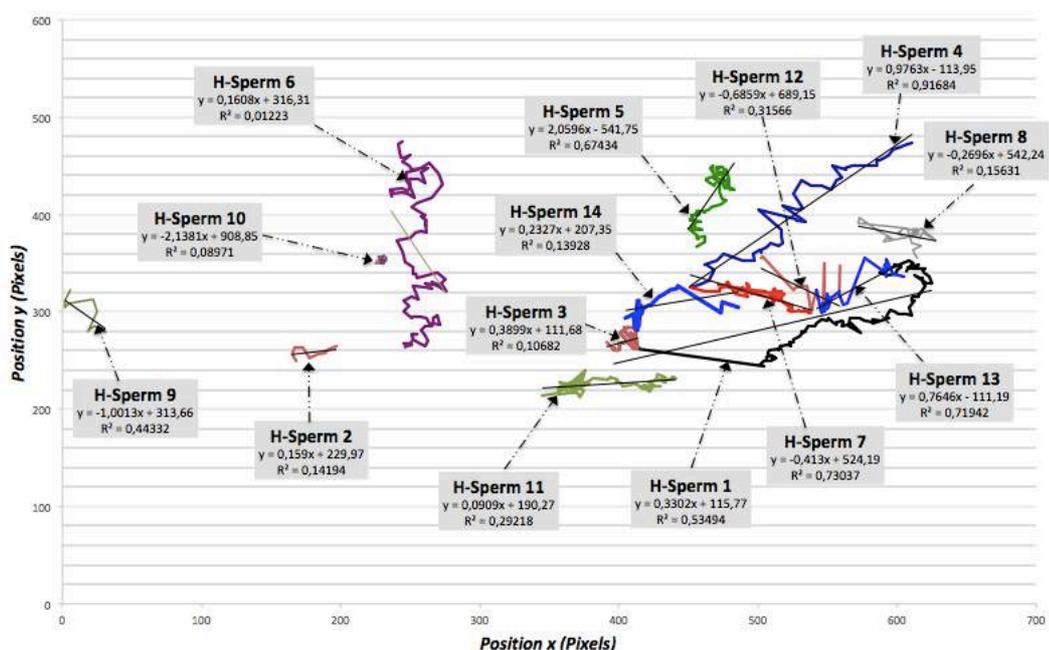
Frame ke	Sperma-1		Sperma-2		Sperma-3		...	Sperma-8	
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>		<i>x</i>	<i>y</i>
1	62	251	251	184	62	225	...	482	218
2	63	251	251	188	63	225	...	482	218
3	65	251	251	190	63	225	...	482	219
4	67	253	253	189	66	225	...	482	224
5	70	253	253	189	71	225	...	482	224
6	71	254	254	193	71	221	...	484	225
7	71	254	254	195	82	225	...	485	226
8	75	254	254	195	94	223	...	485	228
...
123	287	300	300	290	184	276	...	472	461



Gambar 5.12. Plot Pergerakan Sperma Data Uji

Tabel 5.3. Posisi Data Sperma Manusia Selama Penjejakan

	M-Sperma1		H-Sperma2		H-Sperma3		...	H-Sperma14	
Frame Ke	x	y	x	y	x	y	...	x	Y
1	398	261	197	265	391	269	...	486	305
2	396	261	190	261	394	265	...	474	310
3	396	261	189	258	396	260	...	473	299
4	400	261	183	256	396	264	...	442	326
5	401	263	178	253	397	263	...	442	326
6	400	267	173	263	398	261	...	441	324
7	406	269	167	263	396	261	...	437	322
8	411	265	165	257	396	261	...	436	321
9	409	279	165	257	400	261	...	434	320
10	411	274	168	249	401	263	...	433	318
11	405	278			400	267	...	429	315
...
m	599	349			413	263	...	405	293



Gambar 5.13. Plot Pergerakan Data Sperma Manusia Uji

Proses selanjutnya adalah menentukan regresi linier untuk masing-masing spermatozoa menggunakan persamaan (5.20), (5.21) dan (5.22). Persamaan regresi linier untuk masing-masing spermatozoa ditunjukkan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4. Regresi Linear dan Nilai RMS Data Sperma Uji Selama Penjejakan

Sperma Ke	Regresi Linear	Nilai RMS	Hasil Analisa Pakar
1	$y = 0,23 x + 234,8$	2,14	Progresif
2	$y = 2,09 x - 322,4$	8,68	Progresif
3	$y = 0,40 x + 187,5$	3,90	Progresif
4	$y = 0,61 x + 286,7$	21,43	Non Progresif
5	$y = -0,93 x + 415,2$	77,03	Non Progresif
6	$y = -1,39 x + 599,3$	3,91	Progresif
7	$y = 3,56 x - 1302,0$	62,75	Non Progresif
8	$y = -4,80 x + 2686,0$	63,56	Non Progresif

5.3.10. Analisa Perhitungan RMS

Setelah diperoleh nilai regresi linier untuk masing-masing *spermatozoa*, langkah berikutnya adalah mencari nilai RMS yang mewakili rata-rata jarak antara nilai posisi *spermatozoa* dengan garis regresi linier. Dari nilai RMS ini akan tampak bahwa jika semakin banyak posisi *spermatozoa* yang berada jauh dari garis regresi, maka nilai RMS akan semakin tinggi. Nilai RMS akan memberikan gambaran rata-rata posisi *spermatozoa* selama pergerakannya, posisi pergerakan tersebut jauh dari garis linier atau tidak. Nilai RMS dihitung menggunakan persamaan (2.59) dan (2.60). Nilai RMS masing-masing *spermatozoa* dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Dengan membandingkan plot posisi *spermatozoa* terhadap nilai RMS dapat disimpulkan nilai RMS *threshold* untuk lintasan *spermatozoa* adalah 10. *Spermatozoa* progresif yang bergerak maju dengan lurus atau bergerak maju namun tidak lurus utuh, terkadang berkelok, serta pergerakannya lambat memiliki nilai RMS di bawah 10. Sedangkan *spermatozoa* non progresif yang ekornya bergerak-gerak, namun ia tidak bergerak maju, terkadang tampak berputar-putar saja atau hanya bergerak di tempat memiliki nilai RMS di atas 10. Berdasarkan nilai *threshold* tersebut maka untuk data uji terdapat 4 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif, sedang untuk data *spermatozoa* manusia terdapat 10 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif. Tabel 5.6. memperlihatkan jumlah dan prosentase dari kelompok *spermatozoa*.

Tabel 5.5. Regresi Linear dan Nilai RMS Data Sperma Manusia Selama Penjejakan

Sperma Ke	Regresi Linear	Nilai RMS	Hasil Analisa Pakar
1	$y = 115,77 + 0,33 x$	21,03	Non Progresif
2	$y = 229,97 + 0,16 x$	4,29	Progresif
3	$y = 111,68 + 0,39 x$	6,96	Progresif
4	$y = -113,95 + 0,98 x$	9,17	Progresif
5	$y = -541,75 + 2,06 x$	5,68	Progresif
6	$y = 908,85 - 2,14 x$	26,46	Non Progresif
7	$y = 524,2 - 0,41 x$	4,61	Progresif
8	$y = 542,24 - 0,27 x$	7,25	Progresif
9	$y = 313,66 - 1,00 x$	7,74	Progresif
10	$y = 316,32 + 0,16 x$	2,64	Progresif
11	$y = 190,27 + 0,09 x$	4,39	Progresif
12	$y = 689,16 - 0,69 x$	10,78	Non Progresif
13	$y = -111,19 + 0,77 x$	6,74	Progresif
14	$y = 207,35 + 0,23 x$	10,86	Non Progresif

Tabel 5.6. Jumlah Dan Prosentase Dari Kelompok Spermatozoa

Jenis data sperma	Data Uji		Data Sperma Manusia	
	<i>Progresif</i>	<i>Non progresif</i>	<i>Progresif</i>	<i>Non progresif</i>
Kelompok				
Jumlah	4	4	10	4
Prosentase	50%	50%	71%	29%

5.4. Kesimpulan

Dengan perangkat yang dikembangkan, penentuan abnormalitas pergerakan *spermatozoa* manusia pada file video dapat dilakukan. Posisi pergerakan *spermatozoa* hasil penjejakan dikenali bentuk lintasannya berdasarkan rata-rata jarak posisinya terhadap garis regresi linier, dengan *threshold* 10 terdapat 4 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif untuk data uji, sedangkan untuk video data *spermatozoa* manusia terdapat 10 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif. Metode yang digunakan berhasil menentukan 8 (delapan) *spermatozoa*

data UNSW *Embryology*, dan 14 *spermatozoa* manusia. Dari 8 *spermatozoa* data uji yang dijejaki, terdapat 50% progresif dan 50% non progresif. Sedangkan untuk 14 *spermatozoa* manusia yang dijejaki, terdapat 71% progresif dan 29% non progresif. Menurut *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen* tahun 2010 dengan nilai 71% progresif berarti pergerakan *spermatozoa* manusia normal.

Keterangan:

Publikasi yang dihasilkan dari topik ini, yaitu:

I Gede Susrama Masdiyasa, I Ketut Eddy Purnama, Mauridhi Hery Purnomo (2018) 'A New Methods To Improve Movement Tracking Of Human Sperms', *IAENG International Journal of Computer Science*. International Association of Engineers.

BAB 6

KESIMPULAN & RENCANA PENELITIAN SELANJUTNYA

6.1. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan pengujian, identifikasi dan penghitungan spermatozoa bisa dilakukan secara otomatis. Dalam penelitian ini, Blob Analysis mendeteksi ROI (Region of Interest) berdasarkan nilai treshold citra dari H dan S. Selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan *Support Vector Machine (SVM)* dan *K-NN*, menggunakan fitur *Area*, *Eccentricity* dan *ECD*. Berdasarkan pengujian SVM didapatkan akurasi yang signifikan mencapai tingkat akurasi 91,92%. Selanjutnya dilakukan klasifikasi dengan metode K-NN yang digunakan sebagai metode pembandingan dengan hasil akurasi mencapai 91%.
2. Dari 21 algoritma yang digunakan untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan terhadap objek sperma bergerak pada video (*Basic* dan *Statistical background subtraction*), algoritma *Mixture Of Gaussian V2* pada proses *background subtraction* mampu digunakan untuk mendeteksi dan melakukan perhitungan terhadap objek sperma bergerak pada video, dengan hasil *foreground* yang memiliki sedikit noise, objek *background* bergerak pada video tidak terdeteksi sebagai *foreground* objek, dan bentuk sperma dapat terekstraksi lebih sempurna. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dalam melakukan deteksi dan perhitungan terhadap sperma bergerak algoritma *Mixture Of Gaussian V2* memiliki nilai *f-measure* sebesar 0.9449. Hasil ini merupakan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan algoritma *background subtraction* lain yang dicoba. Ini menunjukkan bahwa algoritma *Mixture Of Gaussian V2* sesuai untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma bergerak dengan berhasil mengatasi tantangan dan keuntungan yang ada pada kasus ini. Nilai *f-measure* dari algoritma *Adaptive Background Learning* sebesar 0.9205. Beda nilai antara algoritma *Mixture Of Gaussian V2* dengan *Adaptive Background Learning* hanya 0.0244, hal ini memperlihatkan bahwa *basic model background subtraction* juga mampu untuk digunakan pada kasus deteksi dan perhitungan sperma yang bergerak.

3. Dengan perangkat yang dikembangkan, penentuan abnormalitas pergerakan *spermatozoa* manusia pada file video dapat dilakukan. Posisi pergerakan *spermatozoa* hasil penjejakan dikenali bentuk lintasannya berdasarkan rata-rata jarak posisinya terhadap garis regresi linier, dengan *threshold* 10 terdapat 4 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif untuk data uji, sedangkan untuk video data *spermatozoa* manusia terdapat 10 *spermatozoa* progresif dan 4 *spermatozoa* non progresif. Metode yang digunakan berhasil menentukan 8 (delapan) *spermatozoa* data UNSW *Embryology*, dan 14 *spermatozoa* manusia. Dari 8 *spermatozoa* data uji yang dijejaki, terdapat 50% progresif dan 50% non progresif. Sedangkan untuk 14 *spermatozoa* manusia yang dijejaki, terdapat 71% progresif dan 29% non progresif. Menurut *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen* tahun 2010 dengan nilai 71% progresif berarti pergerakan *spermatozoa* manusia normal

6.2. Rencana Penelitian Selanjutnya

1. 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.
2. Dalam penelitian ini hanya digunakan tahap *preprocessing* berupa *image enhancement* dengan beberapa metode. Dalam penelitian selanjutnya dapat ditambahkan tahapan *preprocessing* yang lebih banyak untuk mengurangi *noise* pada video masukan. tahap *preprocessing* berupa *image enhancement* yang dapat ditambahkan, misalnya menambah kecerahan video atau *histogram equalization* pada video masukan sebelum melakukan tahapan *background subtraction*.
3. Algoritma *matching-based* yang diterapkan dalam penelitian ini masih belum optimal, masih ditemukan beberapa faktor yang tidak dapat diatasi atau

menjadi penyebab kesalahan dalam penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan. Dalam penelitian selanjutnya dapat menerapkan metode lain atau mengoptimalkan algoritma *matching-based* agar dapat mengatasi faktor-faktor yang menjadi penyebab kesalahan penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Alex, D. S. and Wahi, A., (2014) "Background subtraction frame difference algorithm for moving object detection and extraction," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 60, no. 3, pp. 623–628.
- Basoeki, H. B., Wibawa, A. D. and Purnama, I. K. E. (2016), "Improving sperms detection and counting using single Gaussian background subtraction," in *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (ISemantic)*. IEEE, pp. 295–299.
- Borges Jr, E., Setti, A., Braga, D., Figueira, R. and Iaconelli Jr, A. (2016), "Total motile sperm count has a superior predictive value over the who 2010 cut-off values for the outcomes of intracytoplasmic sperm injection cycles," *Andrology Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 880–886.
- Djurayev, A. and Primora, G., (1990), "Automatic interesting object extraction from images based on edge information and texture analysis," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 6, no. 12, pp. 395–399.
- Girod, B., (2013), "Digital Image processing EE-368/CS-232. Department of Electrical Engineering Stanford University.
- Gloyer, B., Aghajan, H. K., Siu, K. Y. and Kailath, T., (1995), "Video-Based Freeway Monitoring System Using Recursive Vehicle Tracking", In Proc. of IS & T-SPIE Symposium on Electronic Imaging: Image and Video Processing, Volume 2421, pp 173-180.
- Haryati, R. (2017), "Rasio gradien putih telur optimal pada sexing spermatozoa dalam upaya meningkatkan proporsi spermatozoa y pada semen sapi bali", Disertasi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin.
- Hidayatullah, P., Mengko, T. and Munir, R., (2017), "A survey on multisperm tracking for sperm motility measurement," *International Journal of Machine Learning and Computing*, vol. 7, pp. 144–151.
- Kornprobst, P., Deriche, R. and Aubert, G. (1999), "Image sequence analysis via partial differential equations," *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 11, no. 1, pp. 5–26.
- Karim, A. (2017), "A proposed background modelling algorithm for moving object detection using statistical measures," *Iraqi Journal of Science*, vol. 58, no. 3A, pp. 1282–1289, 2017.
- Khryashchev, V., Shmaglit, L., Golubev, M. and Shemyakov, A. (2013), "The development of object tracking and recognition algorithms for audience analysis system," *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. 40, no. 2, pp. 94–103.
- Kufareva, I. and Abagyan, R., (2011), "Methods of protein structure comparison," in *Homology Modeling*. Springer, pp. 231–257.
- Kumalasari, I. dan Andhyantoro, I, (2012), "Kesehatan Reproduksi Untuk Mahasiswa Kebidanan dan Keperawatan", Salemba Medika, Jakarta.
- Kostaman, T. dan Setioko, A.R. (2011), "Perkembangan penelitian teknik kriopreservasi untuk penyimpanan semen ungags," *Jurnal Wartazoa* Vol 21 (3) : 145 – 152.

- Lalis, J. T. (2016), "A new multiclass classification method for objects with geometric attributes using simple linear regression," *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. 43, no. 2, pp. 198–203.
- Li, J., Tseng, K. K., Dong, H., Li, Y., Zhao, M. and Ding, M., (2014), "Human sperm health diagnosis with principal component analysis and k- nearest neighbour algorithm," in *Proceedings International Conference on Medical Biometrics (ICMB)*. IEEE, 2014, pp. 108–113.
- Li, Q., Chen, H., Zhang, X., 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 open cv," in *Proceedings 5th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*. IEEE, pp. 224–227.
- Long, W. and Yang, Y. H. (1990), "Stationary background generation: An alternative to the difference of two images," *Pattern recognition*, vol. 23, no. 12, pp. 1351–1359.
- Masdiyasa, I. G. S., Wisana, I. D. G. H. I. K. E. Purnama, and M. H. Purnama, (2018), "Modified background subtraction statistic models for improvement detection and counting of active spermatozoa motility," *Lontar Komputer Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 28–39.
- Najakhatas, S. dan Windhu, P. (2016), "Karakteristik dan Perilaku Berisiko Pasangan Infertil di Klinik Fertilitas dan Bayi Tabung Tiara Cita Rumah Sakit Putri Surabaya", *Jurnal Biometrika dan Kependudukan*, Vol. 5, No. 1, 2016, pp. 61-69.
- Nurul, A. R., (2018), "Pengaruh Pencucian Dengan Metode Sentrifugasi Terhadap Abnormalitas Dan Pola Pergerakan Spermatozoa Semen Beku Kambing Peranakan Etawah (Pe)", Skripsi, Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin Makassar.
- Otsu, N. (1979), "A threshold selection method from gray-level histograms," *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.
- Park, S. (2013), "Effect of sow, boar, and semen traitson sow reproduction", Thesis. University of Nebraska. Lincoln.
- Ravanfar, M. R. and Moradi, M. H. (2011), "Low contrast sperm detection and tracking by watershed algorithm and particle filter," in *Proceedings 18th Iranian Conference on Bio-Medical Engineering*. IEEE, pp. 260–263.
- Rathod, G. I. and Nikam, D. A., (2013), "An algorithm for shot boundary detection and key frame extraction using histogram difference," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 8, pp. 155–163.
- Rothmann, S. A. and Reese, A. A. (2007), "Semen Analysis: The Test Techs Love To Hate," *Medical Laboratory Observer*, vol. 39, no. 4, pp. 18–20.
- Stephens, D. T., Hickman, R. and Hoskins, D. D., (1988), "Description, validation, and performance characteristics of a new computer-automated sperm motility analysis system," *Biology of reproduction*, vol. 38, no. 3, pp. 577–586.
- Sopharak, A., Uyyanonvara, A. and Barman, S., (2011), "Automatic microaneurysm detection from non-dilated diabetic retinopathy retinal images using mathematical morphology methods," *IAENG International Journal of Computer Science*, vol. 38, no. 3, pp. 295–301.
- Tamboli, A. and Volkert, L. (2003), "Computer aided image analysis of mobile microscopic objects: the detection phase," in *Bioengineering Conference, 2003 IEEE 29th Annual, Proceedings of*. IEEE, pp. 79–80.

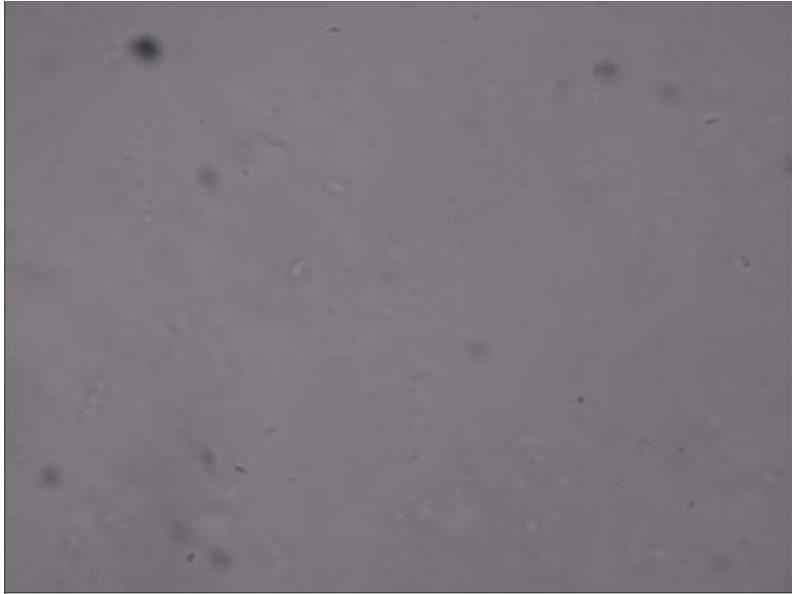
- Yañiz, J., Soler, C., and Santolaria, P., (2015), "Computer assisted sperm morphometry in mammals: a review," *Animal reproduction science*, vol. 156, pp. 1–12.
- Yin, H., Chai, Y., Yang, S. X. and Yang, X. , (2011), "Fast-moving target tracking based on mean shift and frame-difference methods," *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 22, no. 4, pp. 587–592.
- Young, S., Tzeng, W., Kuo, Y. Hsiao, M. and Chiang, S. (1996), "Real-time tracing of spermatozoa: A system for improved evaluation of sperm progression," *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, vol. 15, no. 6, pp. 117–120.
- W. H. Organization, WHO Laboratory Manual for The Examination and Processing of Human Semen, 5th edition. Geneva: World Health Organization, 2010.
- Zhang, Y., Wang, X. and Qu, B. (2012), "Three-frame difference algorithm research based on mathematical morphology," *Procedia Engineering*, vol. 29, pp. 2705–2709.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1.

OUTPUT FRAME WAKTU KONVERSI 10 DETIK

1. Rata-rata Frame



2. Output Frame Diference



Frame 0



Frame 30



Frame 50



Frame 100

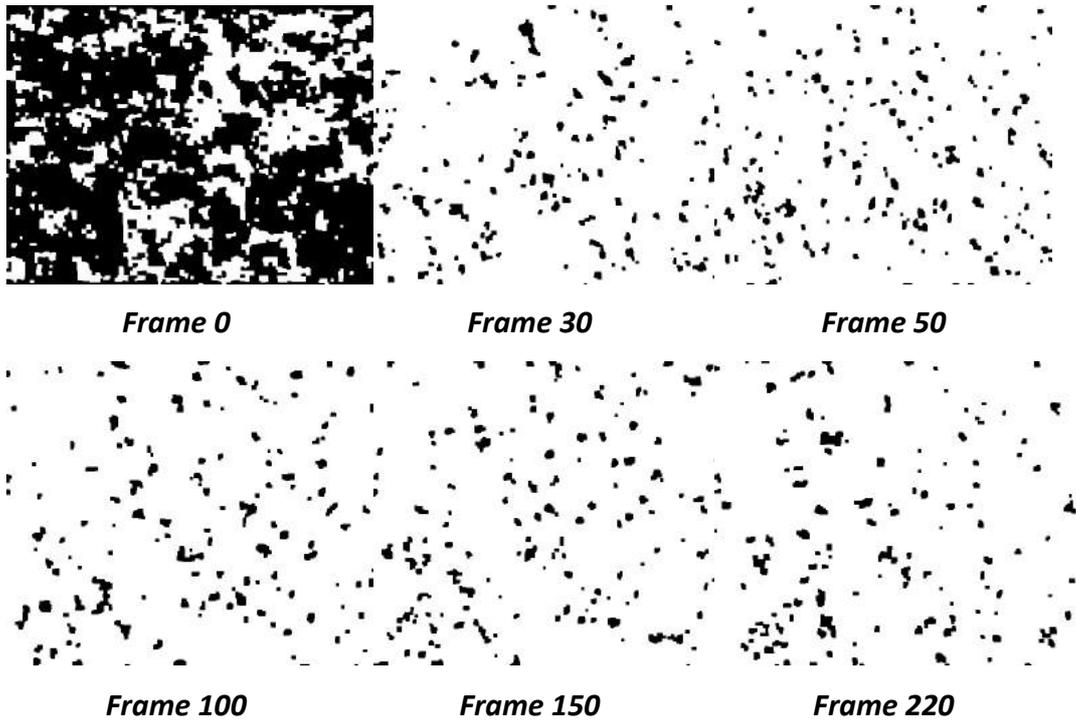


Frame 150

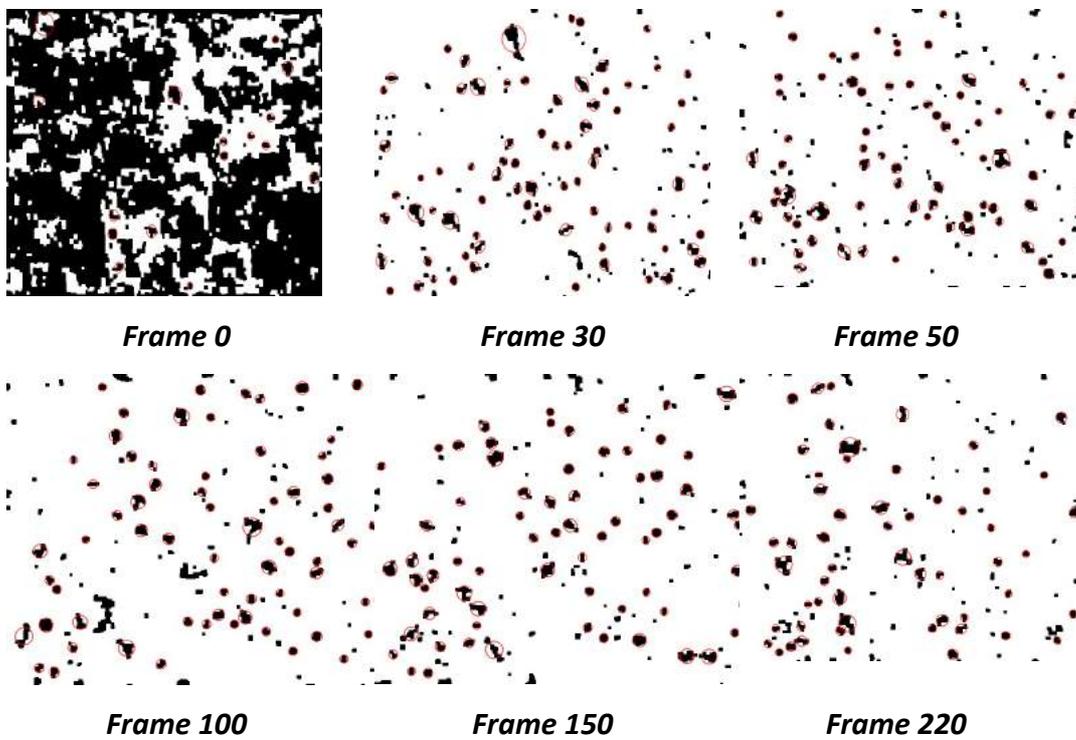


Frame 220

3. Output Operasi Morphologi

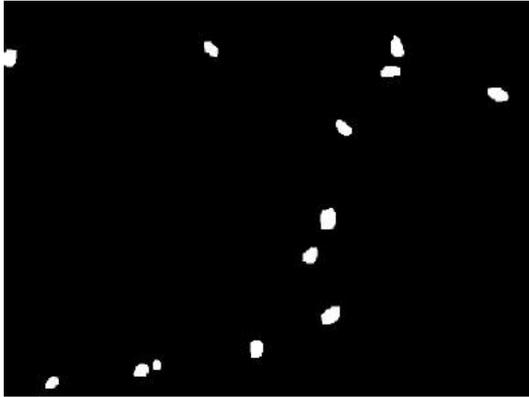


4. Output Blob Analysis

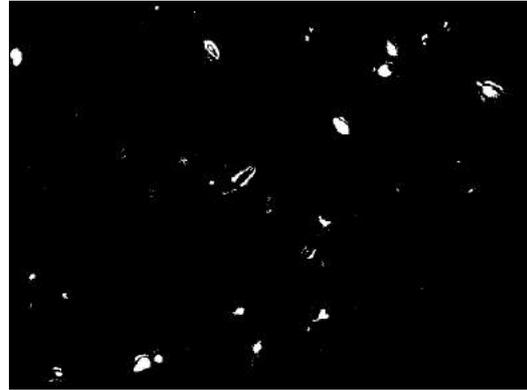


LAMPIRAN 2.a.

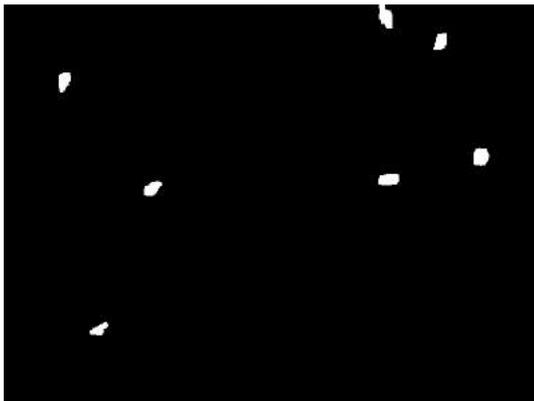
Adaptive Background Learning: (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



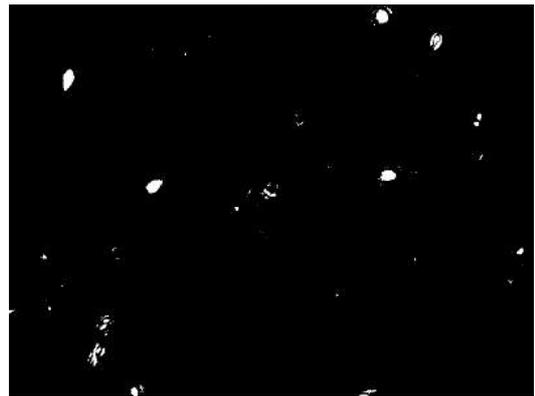
a



b



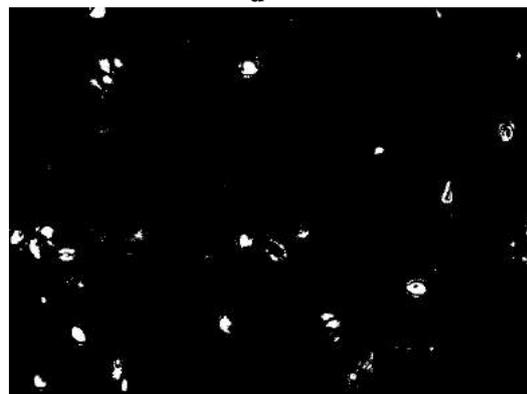
c



d

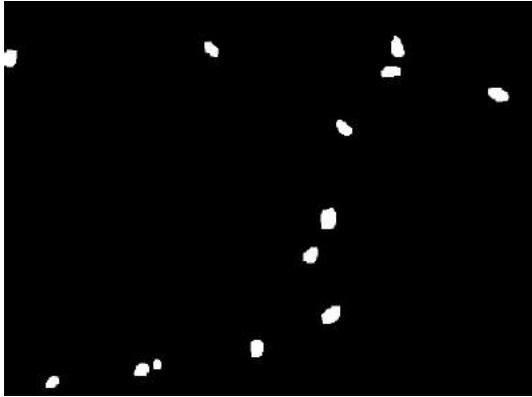


e

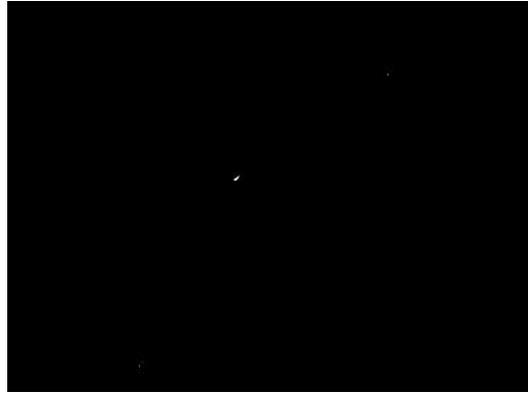


f

Fuzzy Choquet Integral: (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



a



b



c



d

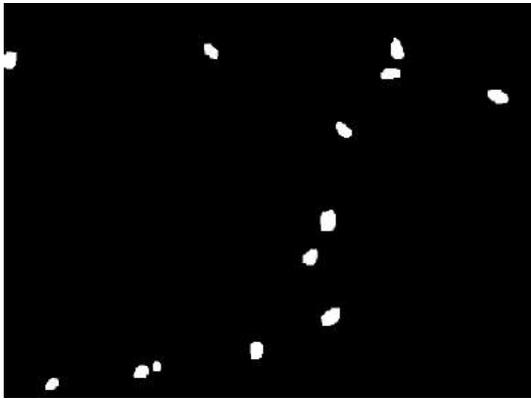


e



f

Wren Gaussian Average: (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



a



b



c



d



e



f

LAMPIRAN 2.b.

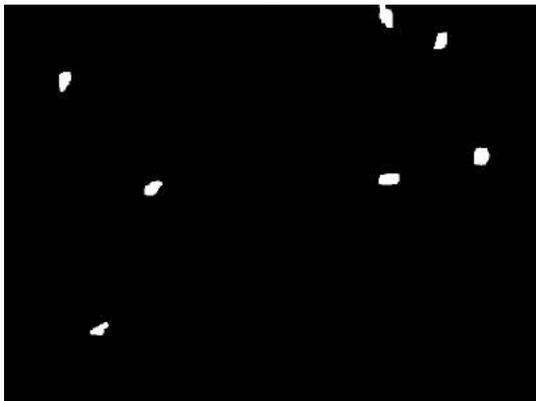
Mixture Of Gaussian V2: (a) Ground Truth pada frame ke 30, (b) Hasil foreground mask pada Frame ke 30, (c) Ground Truth pada frame ke 120, (d) Hasil foreground mask pada Frame ke 120, (e) Ground Truth pada frame ke 570, (f) Hasil foreground mask pada Frame ke 570



a



b



c



d

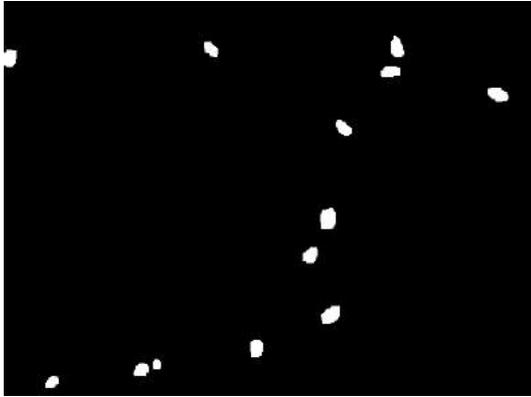


e



f

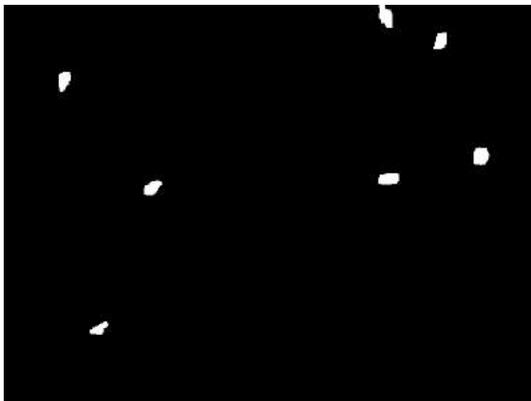
Mixture Of Gaussian VI: (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



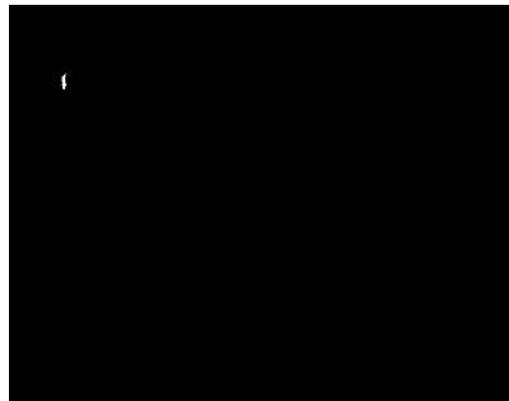
a



b



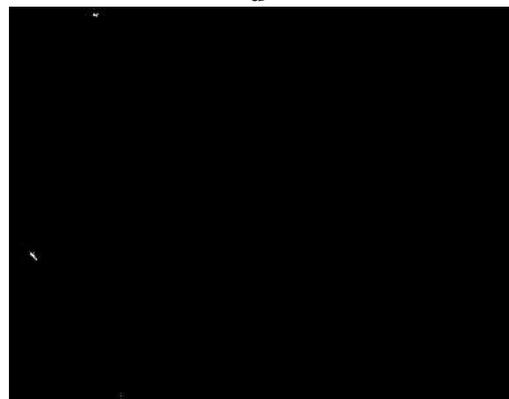
c



d

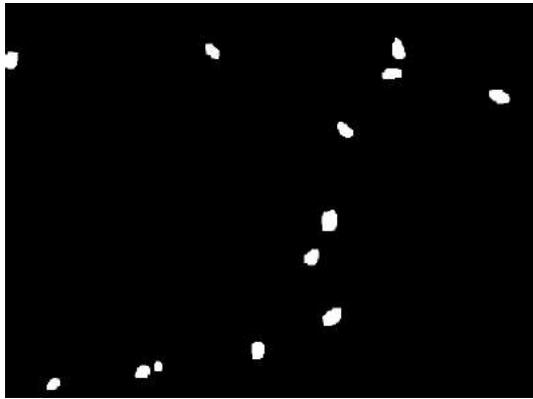


e

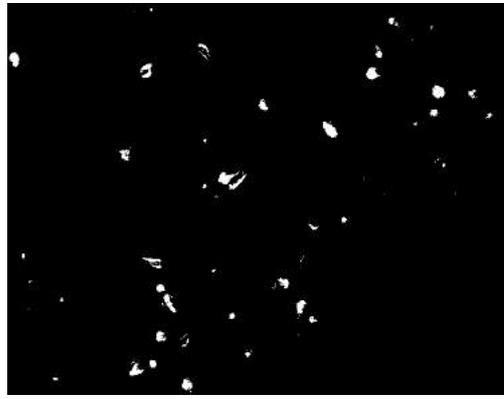


f

Zivkovic GMM: (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



a



b



c



d

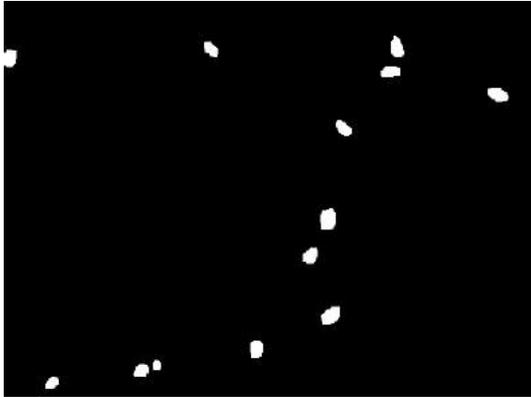


e

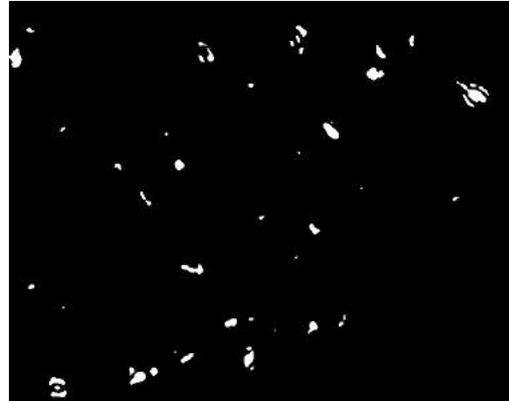


f

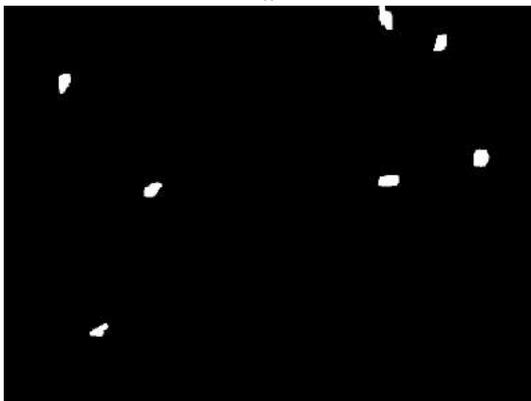
VU Meter: (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



a



b



c



d

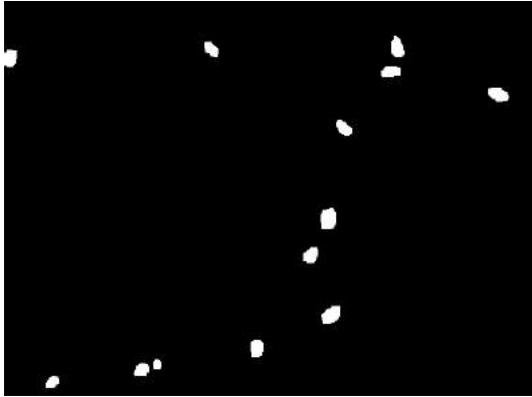


e



f

Adaptive Selective Background Learning (a) *Ground Truth* pada *frame* ke 30, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 30, (c) *Ground Truth* pada *frame* ke 120, (b) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 120, (e) *Ground Truth* pada *frame* ke 570, (f) Hasil *foreground mask* pada *Frame* ke 570



a



b



c



d



e



f

LAMPIRAN 2.C. HASIL PERHITUNGAN ROC 21 ALGORITMA BACKGROUND SUBTRACTION

2.C.1 Frame Difference

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	0
60	12	12	0	4
90	12	12	0	3
120	7	7	0	3
150	8	8	0	3
180	5	5	0	6
210	13	13	0	1
240	14	14	0	2
270	13	13	0	2
300	15	15	0	1
Total	112	112	0	25

2.C.2 Weighted Moving Mean

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	2	11	0
60	12	2	10	0
90	12	0	12	0
120	7	2	5	0
150	8	1	7	0
180	5	1	4	0
210	13	1	12	0
240	14	1	13	0
270	13	2	11	0
300	15	0	15	0
Total	112	12	100	0

2.C.3 Weighted Moving Average

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	5	8	0
60	12	2	10	0
90	12	2	10	0
120	7	3	4	0
150	8	2	6	0
180	5	2	3	0
210	13	1	12	0
240	14	2	12	0
270	13	3	10	0
300	15	1	14	0
Total	112	23	89	0

2.C.4 Adaptive Background Learning

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	14	13	0	1
60	16	12	0	4
90	16	12	0	4
120	7	6	1	0
150	10	8	0	2
180	8	5	0	3
210	16	13	0	3
240	14	14	0	0
270	13	13	0	0
300	15	14	1	0
Total	112	110	2	17

2.C.5 Fuzzy Choquet Integral

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	0	13	0
60	12	0	12	0
90	12	0	12	0
120	7	0	7	0
150	8	0	8	0
180	5	0	5	0
210	13	0	13	0
240	14	0	14	0
270	13	0	13	0
300	15	0	15	0
Total	112	0	112	0

2.C.6 Wren Gaussian Average

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	9	4	0
60	12	7	5	0
90	12	9	3	0
120	7	4	3	0
150	8	6	2	0
180	5	3	2	0
210	13	10	3	0
240	14	8	6	0
270	13	8	5	0
300	15	10	5	0
Total	112	74	38	0

2.C.7 Single Gaussian

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	44
60	12	12	0	50
90	12	12	0	38
120	7	7	0	46
150	8	8	0	45
180	5	5	0	47
210	13	13	0	39
240	14	14	0	40
270	13	13	0	33
300	15	15	0	35
Total	112	112	0	417

2.C.8 Grimson GMM

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	20
60	12	12	0	1
90	12	12	0	2
120	7	7	0	4
150	8	8	0	4
180	5	5	0	5
210	13	13	0	7
240	14	14	0	0
270	13	13	0	1
300	15	15	0	3
Total	112	112	0	47

2.C.9 MOG V1

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	0	13	0
60	12	0	12	0
90	12	0	12	0
120	7	1	6	0
150	8	0	8	0
180	5	0	5	0
210	13	0	13	0
240	14	0	14	0
270	13	0	13	0
300	15	0	15	0
Total	112	1	111	0

2.C.9 MOG V2

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	11	2	0
60	12	11	1	0
90	12	12	0	0
120	7	7	0	1
150	8	8	0	0
180	5	5	0	2
210	13	11	2	0
240	14	14	0	0
270	13	12	1	0
300	15	12	3	0
Total	112	103	9	3

2.C.9 Zivkovic GMM

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	3
60	12	12	0	2
90	12	12	0	4
120	7	7	0	7
150	8	8	0	7
180	5	5	0	9
210	13	13	0	1
240	14	11	3	0
270	13	13	0	4
300	15	12	3	0
Total	112	106	6	37

2.C.10 T2FGMM_UV

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	16
60	12	12	0	6
90	12	12	0	12
120	7	7	0	18
150	8	8	0	19
180	5	5	0	12
210	13	13	0	8
240	14	14	0	6
270	13	12	1	0
300	15	13	2	0
Total	112	109	3	97

2.C.10 T2FMRF_UV

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	0	13	0
60	12	0	12	0
90	12	6	6	0
120	7	2	5	0
150	8	8	0	0
180	5	5	0	2
210	13	11	2	0
240	14	10	4	0
270	13	5	8	0
300	15	5	10	0
Total	112	52	60	2

2.C.11 PBAS

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	3	10	0
60	12	5	7	0
90	12	10	2	0
120	7	3	4	0
150	8	6	2	0
180	5	3	2	0
210	13	11	2	0
240	14	8	6	0
270	13	11	2	0
300	15	10	5	0
Total	112	70	42	0

2.C.12 VuMeter

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	4
60	12	12	0	2
90	12	12	0	3
120	7	4	3	0
150	8	8	0	1
180	5	4	1	0
210	13	11	2	0
240	14	8	6	0
270	13	11	2	0
300	15	9	6	0
Total	112	92	20	10

2.C.13 Eigen Background

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	2
60	12	12	0	3
90	12	12	0	5
120	7	7	0	7
150	8	8	0	4
180	5	5	0	5
210	13	13	0	7
240	14	14	0	6
270	13	13	0	8
300	15	15	0	6
Total	112	112	0	53

2.C.14 Adaptive SOM

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	0	13	0
60	12	12	0	4
90	12	12	0	4
120	7	7	0	6
150	8	8	0	4
180	5	5	0	4
210	13	13	0	7
240	14	14	0	6
270	13	13	0	3
300	15	15	0	6
Total	112	99	13	44

2.C.15 Fuzzy Adaptive SOM

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	0	12	0
60	12	12	0	0
90	12	7	0	1
120	7	8	0	2
150	8	5	0	3
180	5	13	0	2
210	13	14	0	0
240	14	13	0	0
270	13	15	0	0
300	15	0	0	9
Total	112	87	12	17

2.C.16 Adaptive Selective Background Learning

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	4	9	0
60	12	4	8	0
90	12	5	7	0
120	7	4	3	0
150	8	4	4	0
180	5	2	3	0
210	13	7	6	0
240	14	3	11	0
270	13	6	7	0
300	15	1	14	0
Total	112	40	72	0

2.C.17 Independent Multimodal

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
150	13	8	0	0
180	12	5	0	3
210	12	11	2	0
240	7	13	1	0
270	8	13	0	5
300	5	9	6	0
330	13	11	0	3
360	14	13	1	0
390	13	13	2	0
420	15	6	0	2
Total	112	102	12	13

2.C.18 Kernel Density Estimation

<i>Frame</i>	<i>Jumlah Objek</i>	<i>True Positive</i>	<i>False Negative</i>	<i>False Positive</i>
30	13	13	0	8
60	12	12	0	14
90	12	12	0	10
120	7	7	0	8
150	8	8	0	11
180	5	5	0	5
210	13	13	0	6
240	14	14	0	5
270	13	13	0	4
300	15	15	0	2
Total	112	112	0	73