

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Motilitas spermatozoa merupakan indikator penting dalam menentukan kualitas dan tingkat kesuburan sperma [1]. Pergerakan yang terarah dan efisien sangat diperlukan dalam proses pembuahan, karena spermatozoa harus memiliki kecepatan yang optimal dan pola pergerakan yang sesuai untuk mencapai sel telur [2]. Spermatozoa yang tidak bergerak dengan kecepatan yang memadai atau memiliki pola pergerakan yang tidak teratur cenderung dianggap infertil [3]. Infertilitas atau kemandulan menjadi salah satu problematika yang berpotensi mengancam kehidupan rumah tangga di berbagai belahan dunia. Hal ini disampaikan dan disepakati oleh para ilmuwan di seluruh dunia, dibuktikan dengan tingginya angka infertilitas yang hampir menyentuh angka 15% [4]. Pada tahun 1999, WHO mempublish hasil penelitian yang menunjukkan jumlah pasangan dengan masalah infertilitas di Amerika Serikat. Dalam penelitian tersebut, disebutkan bahwa hampir 35-40% masalah infertilitas disebabkan dari pihak pria, dan hampir 35% disebabkan oleh pihak wanita, 20% disebabkan oleh masalah pada kedua jenis kelamin dan 10% karena alasan yang tidak diketahui [4]. Data lain yang bersumber dari National Survey of Family Growth pada rentang tahun 2006 – 2010, diperkirakan sebanyak 6% pasangan yang sudah menikah dengan rentang usia 15–44 tahun di Amerika Serikat mengalami infertilitas. Menurut data tersebut, semakin tua usia seorang wanita semakin berisiko mengalami infertilitas. Wanita dengan rentang usia 15-34 tahun memiliki risiko 7,3-9,1% mengalami infertilitas; usia 35-50 tahun mengalami risiko 25% mengalami infertilitas; dan usia 40-44 tahun memiliki risiko 30% mengalami infertilitas.

Pada dua dekade terakhir, bagi sebagian pasangan yang mengalami masalah infertilitas, In-Vitro Fertilization (IVF) atau biasa dikenal dengan istilah bayi tabung adalah salah satu cara untuk memperoleh keturunan [5]. Metode yang populer digunakan adalah Intracytoplasmic Sperm Injection (ICSI) atau disebut

penyuntikan satu sperma hidup ke dalam sel telur. Walaupun demikian, dikarenakan sulitnya untuk menemukan sel sperma dengan kualitas baik, IVF memiliki tingkat kegagalan yang cukup tinggi, yaitu sekitar 60-70% [6].

Menurut penelitian yang dilakukan oleh WHO, kualitas sperma itu sendiri dapat ditentukan dari konsentrasi sperma, jenis arah pergerakannya, dan morfologinya (bentuk dan ukuran dari kepala dan ekor sperma) [7]. Berdasarkan beberapa kriteria tersebut, analisis pergerakan dan morfologi dari sperma diperlukan untuk menentukan tingkat kesuburan sperma [8]. Penelitian ini akan berfokus pada analisis motilitas spermatozoid untuk mengevaluasi pola pergerakan, mendeteksi keabnormalitas lintasan, serta menentukan tingkat akurasi dalam mengklasifikasikan kualitas pergerakan sperma.

Penelitian mengenai deteksi sperma telah banyak dilakukan, termasuk studi yang dilakukan oleh Siritanapongpak pada tahun 2024 [9], yang berfokus pada pemeriksaan mikroskopis manual. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengotomatiskan proses identifikasi sperma dengan memanfaatkan teknologi pemrosesan gambar. Temuan dari penelitian ini mengungkapkan bahwa deteksi sperma secara manual menghadapi berbagai kendala signifikan, terutama disebabkan oleh pergerakan sperma yang sangat cepat dan tingkat subjektivitas tinggi dalam penilaian visual [9]. Kendala-kendala tersebut berdampak pada hasil analisis yang kurang konsisten dan tingkat akurasi yang rendah, sehingga membutuhkan teknologi yang lebih canggih seperti machine learning.

Pada akhir tahun 1980-an, sistem CASA (Computer-Aided Sperm Analysis) pertama kali dikembangkan untuk menganalisis pergerakan sperma [10]. Namun, metode ini, yang awalnya bergantung pada pemrosesan citra sederhana, memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan dan akurasi dibandingkan dengan pendekatan yang lebih canggih. Dengan kemajuan pesat dalam teknologi, CASA telah berkembang jauh, memungkinkan analisis sperma yang lebih cepat dan lebih akurat. Penggunaan machine learning dalam CASA telah meningkatkan efisiensi, dengan memanfaatkan metode yang lebih canggih untuk mencapai hasil yang lebih akurat dan konsisten [10].

Penelitian oleh Masdiyasa, dkk pada tahun 2018 [11] tentang penggunaan model statistik untuk pengurangan latar belakang dalam deteksi dan penghitungan motilitas spermatozoa aktif. Deteksi dan penghitungan motilitas spermatozoa aktif melibatkan beberapa metode utama untuk meningkatkan akurasi analisis video mikroskopi. Salah satunya adalah pengurangan latar belakang (background subtraction), yang memisahkan spermatozoa dari latar belakang menggunakan model seperti Single Gaussian, Gaussian Mixture Model (GMM), dan Kernel Density Estimation. Tahapan ini diikuti oleh pengolahan citra morfologi, seperti pembukaan (opening) dan penutupan (closing), untuk mengurangi noise dan memperbaiki bentuk objek yang terdeteksi.

Setiap frame video terlebih dahulu melalui pre-processing, seperti filter Gaussian, untuk meningkatkan kualitas citra. Hasil deteksi kemudian divalidasi melalui analisis ROC (Receiver Operating Characteristic) dan dibandingkan dengan data ground truth dari observasi manual untuk memastikan akurasi. Pendekatan ini dirancang untuk memberikan hasil yang lebih andal dalam analisis motilitas spermatozoa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diterapkan untuk deteksi dan penghitungan motilitas spermatozoa aktif berhasil meningkatkan akurasi dan efektivitas analisis. Model statistik Gaussian Mixture Model (GMM) menonjol dengan nilai f-measure 0.8265, menunjukkan kemampuan yang unggul dalam mengekstrak bentuk spermatozoa dibandingkan metode lain. Penggunaan filter Gaussian pada tahap pre-processing efektif dalam mengurangi noise, meningkatkan kualitas citra untuk deteksi.

Setelah pengurangan latar belakang dan penerapan operasi morfologi, hasil deteksi menunjukkan objek yang lebih terpisah dan berbentuk baik, mempermudah proses penghitungan. Analisis ROC mengonfirmasi akurasi metode, dengan hasil deteksi yang sesuai dengan citra ground truth dari observasi manual. Dibandingkan dengan metode pengurangan latar belakang lainnya, seperti Weighted Moving Average dan Wren Gaussian Average, pendekatan ini terbukti lebih efektif dalam mendeteksi dan menghitung spermatozoa.

Beberapa kelemahan yang teridentifikasi dalam penelitian ini mencakup ketergantungan pada nilai threshold yang optimal, yang memengaruhi akurasi deteksi, terutama dalam kondisi video yang berbeda. Meskipun Gaussian Mixture Model (GMM) dan operasi morfologi efektif dalam mengurangi noise, beberapa objek latar belakang yang bergerak masih dapat terdeteksi sebagai foreground, yang memengaruhi hasil deteksi spermatozoa.

Penelitian ini juga terbatas pada variasi data yang digunakan, sehingga hasilnya mungkin kurang efektif jika diterapkan pada video dengan pencahayaan atau kualitas berbeda. Selain itu, kompleksitas komputasi metode seperti GMM dapat memperlambat pemrosesan untuk video dengan frame rate tinggi. Validasi yang terbatas pada dataset kecil dan fokus khusus pada spermatozoa juga menjadi tantangan dalam menggeneralisasi hasil ke konteks yang lebih luas atau untuk objek bergerak lainnya.

Penelitian lain yang juga dilakukan oleh Masdiyasa, dkk pada tahun 2024 [12] tentang penentuan abnormalitas spermatozoa dengan memanfaatkan algoritma matching-based dan Gaussian Mixture Model menunjukkan hasil akurasi dari metode yang digunakan dalam penelitian tersebut menunjukkan performa yang cukup baik. Dalam kondisi video dengan kecepatan rekaman 50 FPS, waktu liquefaction 20 menit, dan pembesaran lensa mikroskop 40x, penelitian ini mencatat akurasi pelacakan tertinggi sebesar 77.3% dan akurasi rata-rata untuk menentukan abnormalitas motilitas spermatozoa sebesar 87.7%. Akan tetapi penggunaan metode Gaussian Mixture Model dan matching based algorithm juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya metode ini memiliki kompleksitas komputasi yang tinggi, menyulitkan penerapannya dalam situasi real-time, terutama dalam aplikasi klinis yang memerlukan analisis cepat. Kedua, metode ini sangat bergantung pada kualitas video, sehingga resolusi rendah atau noise tinggi dapat mengurangi akurasi pelacakan. Ketiga, variasi bentuk dan warna spermatozoa sering kali menimbulkan kesulitan dalam membedakannya dari latar belakang, mengakibatkan pelacakan yang tidak akurat. Selain itu, metode ini kurang efektif dalam menangani gerakan cepat spermatozoa, terutama jika kecepatan rekaman video tidak memadai. Langkah pra-pemrosesan yang terbatas, seperti hanya

menggunakan Gaussian blurring, juga dapat meninggalkan noise yang memengaruhi hasil analisis. Terakhir, kemampuan generalisasi metode ini terhadap dataset atau kondisi yang berbeda masih terbatas, sehingga memerlukan pengujian lebih lanjut di luar konteks penelitian awal.

Python telah berkembang menjadi salah satu bahasa pemrograman paling populer di dunia, terutama dalam bidang analisis data, pemrosesan gambar, dan ilmu fisika [16]. Kemampuannya untuk menangani berbagai tugas dengan efisiensi tinggi berasal dari ekosistem pustaka yang luas, seperti NumPy, SciPy, dan Matplotlib [17]. Dalam penelitian untuk analisis spermatozoa, Python menawarkan pustaka yang spesifik dan kuat seperti TrackPy. TrackPy dirancang untuk membantu peneliti dalam menganalisis dan melacak lintasan partikel dalam data spasial-temporal, khususnya dari video atau gambar rangkaian, dengan cara yang efisien dan intuitif [18].

TrackPy dibangun di atas ekosistem Python yang sudah matang, seperti Pandas untuk manipulasi data, NumPy untuk komputasi numerik, dan SciPy untuk algoritma ilmiah [19]. Dengan kombinasi ini, TrackPy menawarkan berbagai fitur yang mencakup deteksi partikel dalam gambar, pengelompokan lintasan partikel, dan analisis lanjutan seperti kecepatan rata-rata, lintasan, dan identifikasi pola pergerakan. Salah satu kekuatan utama TrackPy adalah kemampuannya untuk menangani data yang kompleks secara efisien, dengan memanfaatkan mesin komputasi seperti Numba untuk mempercepat proses perhitungan, yang sangat penting dalam analisis dataset besar [18].

Dalam penelitian lintasan partikel, seperti pergerakan spermatozoa atau analisis partikel fluida, TrackPy menjadi alat yang sangat berharga. Dengan fungsionalitas seperti `tp.locate` untuk mendeteksi posisi partikel pada frame tertentu dan `tp.batch` untuk menganalisis banyak frame sekaligus, pustaka ini mempermudah proses identifikasi lintasan partikel secara otomatis. Selain itu, fungsi seperti `tp.link` memungkinkan pengguna menghubungkan partikel yang sama di berbagai frame untuk membentuk lintasan, dan `tp.plot_traj` memberikan visualisasi yang intuitif untuk menganalisis pola pergerakan [19].

Analisis statistik adalah proses pengumpulan, pengolahan, interpretasi, dan penyajian data numerik untuk mengidentifikasi pola, hubungan, atau tren [20]. Analisis statistik telah menjadi alat utama dalam pengolahan dan interpretasi data selama beberapa dekade. Dengan perkembangan teknologi, analisis statistik kini bertransformasi melalui integrasinya dengan *machine learning*, yang memungkinkan pengolahan data dalam jumlah besar dan kompleks secara lebih efisien [21]. *Machine learning* memperluas cakupan analisis statistik dengan menggunakan algoritma adaptif untuk membuat prediksi, mengklasifikasikan data, dan menemukan hubungan non-linear yang sulit diidentifikasi melalui metode statistik tradisional [22].

Regresi logistik adalah salah satu teknik analisis statistik yang digunakan untuk memprediksi probabilitas suatu kejadian biner berdasarkan variabel independen. Teknik ini sangat populer karena kemampuannya untuk menangani data yang kompleks dan menghasilkan model yang mudah diinterpretasikan. Regresi logistik bekerja dengan memetakan variabel independen ke dalam fungsi logistik, yang menghasilkan output dalam bentuk probabilitas antara 0 dan 1 [23]. Dengan kemampuannya untuk mengukur hubungan antara prediktor dan hasil biner, regresi logistik sering digunakan untuk klasifikasi, seperti membedakan kategori "normal" dan "abnormal" dalam berbagai bidang analisis.

Pada penelitian ini, regresi logistik memainkan peran penting dalam mengidentifikasi parameter yang memengaruhi kualitas atau motilitas sperma. Misalnya, parameter seperti kecepatan rata-rata dan linearitas lintasan dapat dimasukkan sebagai variabel prediktor untuk menentukan apakah suatu sperma tergolong normal atau mengalami kelainan [24]. Dengan regresi logistik, peneliti dapat memodelkan hubungan antara karakteristik fisik atau pergerakan sperma dan kemungkinan abnormalitas, yang dapat digunakan untuk mendukung diagnosa kesuburan atau memahami faktor yang memengaruhi motilitas sperma. Selain itu, regresi logistik memungkinkan analisis yang lebih terukur dan sistematis, membantu meningkatkan akurasi evaluasi motilitas sperma dibandingkan dengan pendekatan manual.

Berdasarkan permasalahan dan metode yang telah dijelaskan diatas, penelitian ini akan membahas penggunaan algoritma regresi logistik dalam identifikasi abnormalitas motilitas spermatozoa dengan memanfaatkan *TrackPy* untuk pelacakan pergerakan spermatozoa. Pendekatan ini diharapkan dapat memaksimalkan kemampuan algoritma dalam mengenali pola-pola kompleks dalam pergerakan spermatozoa, di mana regresi logistik dikenal dengan kemampuannya dalam melakukan klasifikasi berdasarkan hubungan linier antara fitur dan hasil prediksi, sementara *TrackPy*, sebagai *library* untuk pelacakan partikel, memiliki keunggulan dalam mengidentifikasi jalur pergerakan partikel secara akurat. Selain itu, penggunaan data pergerakan spermatozoa dengan perbedaan frame rate akan memungkinkan model untuk memperoleh lebih banyak informasi terkait dinamika motilitas, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kemampuan model dalam mendeteksi pola abnormalitas. Maka dari itu, penelitian ini diharapkan dapat mengurangi tingkat kesalahan dalam identifikasi motilitas spermatozoa, terutama pada kasus-kasus di mana pergerakan spermatozoa memiliki karakteristik yang tidak biasa atau sulit dikenali oleh metode konvensional, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan efektif dalam membantu proses analisis infertilitas.

1.2.Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, maka perumusan masalah adalah bagaimana menerapkan algoritma logistic regression untuk identifikasi abnormalitas motilitas spermatozoa ?

1.3.Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk memudahkan identifikasi motilitas spermatozoa pada proses analisis sperma agar dapat digunakan untuk mengidentifikasi sel spermatozoa yang mempunyai abnormalitas serta mengetahui tingkat akurasi yang dapat dihasilkan.

1.4.Manfaat

Di dalam penelitian yang dilakukan ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain

a. Manfaat Bagi Penulis

Sebagai tambahan wawasan keilmuan dan pengetahuan tentang logistic regression terutama dalam menerapkan untuk identifikasi suatu objek. Penulis juga sedikit mengerti tentang ilmu biomedis.

b. Manfaat Bagi Pembaca

Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai referensi bagi pembaca dalam menyelesaikan suatu masalah klasifikasi jenis pergerakan sperma dengan menggunakan regresi logistik serta memperoleh tambahan wawasan di bidang informatika dan biomedis.

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak keluar dari inti permasalahan yang diterapkan, maka diperlukan adanya batasan masalah sebagai berikut :

- 1 Algoritma yang digunakan untuk identifikasi abnormalitas adalah regresi logistik.
- 2 Dataset primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data video spermatozoid dari partisipan laki-laki berusia di atas 18 tahun.
- 3 Penelitian ini hanya berfokus pada pengamatan motilitas spermatozoa, tidak termasuk dengan morfologinya (bentuk).
- 4 Pengamatan pada motilitas spermatozoa berfokus pada kecepatan dan trajektorinya.
- 5 *Output* dari penelitian ini adalah berupa otomatisasi dari klasifikasi kelas abnormal dan normal pada motilitas sperma menggunakan regresi logistik.