

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infertilitas atau ketidaksuburan merupakan isu kesehatan yang signifikan di seluruh dunia, memengaruhi jutaan pasangan yang ingin memiliki keturunan. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) pada tahun 2021, infertilitas mempengaruhi sekitar 8-12% pada populasi dewasa, dan meningkat menjadi 17,5% di tahun 2023 [1]. Sekitar 30-50% kasus infertilitas dapat diatribusikan pada faktor-faktor yang berasal dari pihak pria [2]. Salah satu faktor utama yang dapat menyebabkan infertilitas adalah masalah kualitas sperma pada pria. Diagnostik kualitas sperma adalah tahap penting dalam menangani masalah infertilitas ini. Penilaian normal dan abnormal terhadap *spermatozoa* manusia dapat didasarkan pada pemeriksaan makroskopis dan mikroskopis [3]. Analisis mikroskopis mencakup penilaian morfologi, dengan mempertimbangkan ukuran seperti panjang kepala, lebar kepala, bagian tengah (*mid-piece*), dan panjang ekor. Namun, ukuran *spermatozoa* tidak selalu menjadi faktor penentu utama dalam membedakan *spermatozoa* normal dari yang abnormal. Demikian juga pada analisis motilitas *spermatozoa* (penjejukan motilitas seperti pergerakan, kecepatan dan lintasan *spermatozoa*). Meskipun *spermatozoa* memiliki kemampuan untuk bergerak dengan baik (motilitas normal), bentuk atau strukturnya yang tidak normal (morfologi abnormal) dapat mengurangi kemampuannya untuk membuahi sel telur. Oleh karena itu, agar *spermatozoa* dianggap sehat dan optimal untuk fertilisasi, baik morfologi maupun motilitas harus berada dalam kondisi normal.

Pengamatan pada *Spermatozoa* manusia saat ini masih dilakukan secara manual menggunakan mikroskop. Hal ini akan mengakibatkan hasil pembacaan atau penilaian menjadi tidak akurat karena faktor seperti tingkat pemahaman tenaga ahli, pencahayaan, pandangan mata yang kurang. Untuk itu diperlukan suatu metode identifikasi otomatis berbasis komputer untuk mendapat hasil yang akurat pada morfologi *spermatozoa* manusia. Dengan demikian, beberapa peneliti telah menciptakan dan mengembangkan beberapa metode *deep learning* yang dapat digunakan untuk mendeteksi abnormalitas pada morfologi sperma berdasarkan data

citra yang ada [4]. Salah satu metode *deep learning* yang banyak dipakai adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). *Deep learning*, khususnya CNN, telah menunjukkan potensi besar dalam mendiagnosis masalah infertilitas terkait kualitas sperma. Meskipun demikian, keterbatasan data merupakan hambatan yang signifikan. Ketika data yang digunakan tidak mencukupi, model cenderung menghasilkan tingkat kesalahan yang tinggi dalam penggunaannya. Menurut sebuah penelitian, masalah ini juga terjadi dalam analisis morfometri sperma, di mana dataset terbatas karena masalah privasi [5]. Dalam permasalahan tersebut, kemudian dilakukan augmentasi data sebagai strategi yang efektif untuk meningkatkan kinerja model *deep learning* dengan memperluas dan diversifikasi dataset yang tersedia.

Generative Adversarial Network (GAN) merupakan salah satu metode augmentasi berbasis *deep learning* yang digunakan untuk menghasilkan citra sintetis. Dengan memanfaatkan teknik augmentasi data berbasis *deep learning* tersebut, gambar-gambar yang dihasilkan menjadi lebih informatif dan berbeda dari gambar asli, sehingga meningkatkan proses pelatihan [5]. Beberapa penelitian terdahulu juga telah mengimplementasikan GAN sebagai metode augmentasi pada beberapa kasus data medis.

Dalam kasus Morfologi sperma, pada tahun 2019, penelitian oleh Liu et.al., menggunakan Wasserstein GAN yang digabungkan dengan *Deep Neural Network* (DNN) untuk mengatasi masalah klasifikasi multi-kelas dengan ukuran sampel yang kecil, khususnya dalam identifikasi tahap kanker [6]. WGAN digunakan untuk menghasilkan data sampel sintetis dari set pelatihan sedangkan DNN dilatih menggunakan sampel sintetis yang dihasilkan oleh GAN. Setelah pelatihan, DNN diuji dengan set pengujian untuk mengevaluasi kinerjanya. Kinerja DNN dibandingkan dengan metode tradisional seperti DNN, SMOTE, dan GAN untuk mengukur efektivitasnya. Studi kasus yang diambil adalah identifikasi tahap *Hepatocellular Carcinoma* (HCC) dengan ukuran sampel kecil, menggunakan serum dari 60 pasien kanker dan 18 sampel sehat sebagai kontrol. Dari studi kasus ini metode yang diusulkan menghasilkan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode tradisional lainnya. Penelitian ini juga mengindikasikan bahwa penggunaan sampel sintetis yang dihasilkan oleh GAN dapat memperluas ukuran

set pelatihan, sehingga membantu DNN dalam belajar lebih baik dan mengurangi risiko *overfitting*. Selain itu, evaluasi kinerja dilakukan menggunakan beberapa metrik, termasuk akurasi, *F-measure*, dan *G-mean*, yang semuanya menunjukkan peningkatan signifikan dalam kinerja klasifikasi.

Kemudian pada tahun 2023 penelitian terkait augmentasi data berbasis DCGAN untuk data citra mikroskopis sperma telah dilakukan oleh Balayev et al. [5]. Penelitian ini menggunakan tiga dataset terkenal, yaitu SMIDS, HuSHeM, dan SCIAN-Morpho, sebagai dasar pelatihan. Dalam penelitian ini DCGAN dilatih untuk menghasilkan gambar baru yang menyerupai gambar asli, dengan tujuan menciptakan data yang lebih beragam dan informatif dibandingkan teknik augmentasi berbasis spasial tradisional. Kualitas gambar yang dihasilkan dievaluasi menggunakan skor *Fréchet Inception Distance* (FID), yang mengukur kesamaan antara gambar baru dan gambar asli. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan DCGAN untuk augmentasi data pada dataset morfologi sperma berhasil menghasilkan gambar sintetis yang berkualitas tinggi. Evaluasi dilakukan menggunakan skor *Fréchet Inception Distance* (FID), di mana hasil terbaik diperoleh untuk kelas normal dari dataset SMIDS dengan skor FID rata-rata 22.041. Untuk dataset HuSHeM, skor FID rata-rata adalah 36.297 untuk kelas *pyriform*, sedangkan untuk SCIAN-Morpho, skor FID rata-rata mencapai 48.738.

Selanjutnya pada tahun 2023, penelitian yang dilakukan oleh Zhang et al., memanfaatkan Wasserstein GAN dengan Gradien Penalti (WGAN-GP) untuk augmentasi data medis satu dimensi khususnya dalam konteks data klinis dan *radiomic* [7]. Penelitian ini juga membandingkan kinerja WGAN-GP dengan metode augmentasi data lainnya, seperti SMOTE dan GAN tradisional. Uji coba penelitian ini menggunakan *Dataset Heart Disease Cleveland* yang merupakan dataset publik yang berisi informasi pasien dengan penyakit jantung, digunakan untuk menguji efektivitas WGAN-GP dalam meningkatkan kinerja klasifikasi pada data tidak seimbang. Di samping itu digunakan juga dataset privat yang berisi data pasien dengan *pneumonitis* akibat radiasi, digunakan untuk menunjukkan aplikasi WGAN-GP dalam konteks dunia nyata. Dari penelitian ini, dihasilkan kesimpulan bahwa WGAN-GP menunjukkan peningkatan signifikan dalam metrik seperti

AUC, *Sensitivity* (SEN), *Accuracy* (ACC), dan *Specificity* (SPE), terutama ketika ukuran dataset pelatihan kurang dari 30%.

Hingga saat ini, belum ditemukan penelitian yang secara khusus menggunakan metode *Wasserstein Generative Adversarial Network with Gradient Penalty* (WGAN-GP) untuk citra mikroskopik *spermatozoa* manusia. Meskipun GAN dan turunannya telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi citra medis, penerapan WGAN-GP dalam domain ini, terutama untuk pengolahan citra sperma, masih jarang. WGAN-GP memiliki keunggulan dalam stabilitas pelatihan dan menghasilkan kualitas gambar yang lebih baik dibandingkan GAN konvensional, sehingga potensinya dalam meningkatkan analisis citra mikroskopik *spermatozoa* sangat besar. Namun, area ini tampaknya belum menjadi fokus utama dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Dengan demikian pada penelitian ini, Wasserstein GAN dengan Gradien Penalti dimanfaatkan untuk membuat data sintetis dari data citra mikroskopis sperma multi-objek yang kemudian dapat memperbanyak data latih sehingga dapat mengatasi permasalahan kekurangan data. Kualitas dari data sintetis yang dihasilkan oleh model ini akan dievaluasi menggunakan *Fréchet Inception Distance* (FID). Seberapa berpengaruh hasil dari augmentasi data yang dilakukan terhadap kinerja model, khususnya dalam mendeteksi abnormalitas morfologi kepala sperma pada citra mikroskopis dan generalisasi model dalam aplikasi dunia nyata, akan diukur menggunakan metode *Transfer Learning*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut yang telah dijelaskan, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai *Fréchet Inception Distance* (FID) terendah yang dapat dicapai oleh model WGAN-GP dalam menghasilkan citra sintetis *spermatozoa* manusia, sebagai indikator kualitas dan kemiripan dengan data asli?
2. Apakah terdapat peningkatan persentase pada metrik evaluasi pada model deteksi abnormalitas morfologi kepala sperma setelah dilatih dengan data augmentasi WGAN-GP, dibandingkan dengan model yang dilatih hanya pada data asli?

3. Manakah di antara metode augmentasi WGAN-GP, dan augmentasi geometris tradisional yang menghasilkan performa model deteksi tertinggi, berdasarkan metrik evaluasi?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah analisis perbandingan terhadap metrik evaluasi model prediksi dalam mengklasifikasikan abnormalitas spermatozoa, baik ketika dataset yang diperluas dengan data sintetis dari model WGAN, maupun dengan metode tradisional.
2. Model deteksi objek yang digunakan adalah YOLO v5 dengan pendekatan *transfer learning*.
3. Metrik evaluasi utama yang digunakan dalam augmentasi berbasis WGAN-GP adalah FID, sedangkan untuk deteksi objek menggunakan mAP, presisi, dan *recall* sebagai metrik evaluasi utamanya.
4. Prototipe aplikasi diagnosis *online* yang dirancang hanya dimaksudkan sebagai gambaran tentang potensi penggunaannya.
5. Pengambilan data pada penelitian dilakukan secara mandiri dan sukarela dengan format pengambilan data berupa gambar dengan resolusi 1920 x 1520 piksel dengan perbesaran 40x.
6. Alat pengambilan data menggunakan mikroskop dan kamera dari OptiLab, yakni OptiLab IRIS-4 dan OptiLab Advance Plus.
7. Dataset yang digunakan pada penelitian bersifat *low quality* dibandingkan dengan dataset sekunder yang tersedia di platform *online*.
8. Menggunakan *framework* Kaggle Notebook dengan GPU P100 untuk pelatihan model WGAN-GP, dan *framework* Google Colab dengan GPU T4 untuk model Transfer Learning YOLOv5

1.4. Tujuan Penelitian

Terkait dengan permasalahan dalam analisis sperma dan berdasarkan rumusan masalah yang ada, tujuan penelitian dirumuskan sebagai berikut.

1. Menganalisis dan mengukur kualitas citra sintetis *spermatozoa* manusia yang dihasilkan oleh model WGAN-GP dengan menggunakan metrik *Fréchet Inception Distance* (FID) untuk memperoleh skor kuantitatif sebagai acuan kemiripan dengan data asli.
2. Membuktikan dan mengukur besaran peningkatan persentase performa pada model deteksi abnormalitas morfologi kepala sperma yang dilatih menggunakan data augmentasi WGAN-GP, dengan cara membandingkannya terhadap model dasar yang hanya dilatih menggunakan data asli.
3. Menentukan metode augmentasi yang paling efektif dengan membandingkan secara kuantitatif hasil metrik evaluasi dari model deteksi yang dilatih menggunakan augmentasi WGAN-GP terhadap model yang dilatih menggunakan augmentasi geometris tradisional.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diberikan oleh adanya penelitian ini di antaranya adalah:

1. Manfaat Teoretis

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian ilmiah di bidang analisis citra medis, khususnya dalam penerapan metode augmentasi data berbasis *Wasserstein Generative Adversarial Network with Gradient Penalty* (WGAN-GP). Pengembangan teknik ini akan memberikan wawasan baru dalam penggunaan metode generatif untuk mengatasi keterbatasan data pelatihan, terutama dalam mendeteksi abnormalitas morfologi kepala sperma pada citra mikroskopis.

2. Manfaat Praktis

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu praktisi medis dan peneliti dalam bidang reproduksi manusia dengan menyediakan model yang lebih akurat dan andal untuk analisis dan klasifikasi sperma berdasarkan morfologi. Dengan metode augmentasi data berbasis WGAN-GP, diharapkan sistem otomatis dapat mengatasi keterbatasan data dan memberikan hasil yang lebih baik dalam deteksi abnormalitas, dibandingkan dengan pendekatan augmentasi data tradisional.

3. Manfaat Aplikatif

Penerapan metode ini tidak hanya terbatas pada analisis sperma, tetapi juga dapat diadaptasi ke berbagai bidang lain yang menggunakan citra medis, seperti analisis sel, jaringan, atau patologi lainnya, di mana keterbatasan data pelatihan menjadi hambatan. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendorong pengembangan teknologi yang lebih maju dalam analisis citra medis berbasis kecerdasan buatan.