

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kanker prostat merupakan salah satu jenis kanker yang paling umum pada pria di seluruh dunia, dengan tingkat kejadian yang terus meningkat secara signifikan. Menurut data terbaru, diperkirakan terdapat lebih dari 1,4 juta kasus baru secara global pada tahun 2022, dan diproyeksikan untuk tahun 2025 menunjukkan peningkatan hingga 35.770 kematian di Amerika Serikat saja, dengan 80% di antaranya terjadi pada pria berusia di atas 70 tahun[1][2]. Fenomena yang ada tidak hanya mencerminkan perubahan demografis seperti adanya penuaan pada populasi, namun faktor resiko lainnya seperti pola makan sehari-hari, genetik yang di turunkan oleh orang tua dan paparan lingkungan yang semakin kompleks[3]. Pada negara berkembang, termasuk Indonesia, akses terhadap pemantauan dini masih sangat terbatas, sehingga banyak kasus baru terdeteksi pada stadium lanjut, yang menurunkan tingkat kelangsungan hidup secara keseluruhan pada seseorang[4]. Penelitian ini muncul didasarkan pada kebutuhan mendesak untuk meningkatkan penilaian yang lebih akurat pada deteksi dini.

Diagnosis kanker prostat sangat bergantung pada pencitraan medis, di mana pada saat ini menggunakan Magnetic Resonance Imaging (MRI) yang telah menjadi modalitas utama karena kemampuannya dalam melakukan visualisasi struktur jaringan lunak dengan kontras yang tinggi [5]. Multiparametrik MRI (mpMRI) memungkinkan pemahaman dan identifikasi lesi yang mencurigakan dengan sensitivitas hingga 90%, yang Dimana jauh lebih baik dibandingkan ultrasonografi transrectal (TRUS) yang sering kali kurang spesifik pada identifikasi lesi [6]. Namun, pada interpretasi gambar MRI memerlukan analisis mendalam terhadap zona-zona prostat, seperti zona perifer (PZ) dan kelenjar sentral (CG), di mana tumor sering kali muncul secara heterogen [7]. Fenomena yang terjadi pada praktik klinis adalah keterlambatan diagnosis akibat keterbatasan sumber daya dari radiolog, yang menyebabkan overload kerja dan

potensi kesalahan subjektif, terutama di fasilitas kesehatan dengan volume pasien tinggi [8].

Tahapan krusial dalam melakukan analisis mpMRI adalah dalam melakukan segmentasi otomatis atau manual dalam memisahkan jaringan prostat sehat dari area tumor, yang mendukung perencanaan biopsi dan terapi [9]. Radiolog berpengalaman yang melakukan segmentasi manual sering kali memakan waktu hingga 30 – 45 menit per kasus dan rentan adanya variabilitas inter-observer, dengan koefisien Dice Similarity (DSC) yang bervariasi hingga 20% antar-pembaca [10][11]. Tantangan selanjutnya diperburuk dikarenakan variasi morfologi dari prostat, seperti perubahan bentuk akibat usia, *Benign Prostatic Hyperplasia* (BPH), atau adanya pencitraan seperti distorsi gerakan pasien[12]. Pada studi PROMISE12, menunjukkan bahwa bahkan di antara ahli, kesalahan segmentasi lebih tinggi dibagian ekstrem pada prostat, yang mempengaruhi keakuratan dalam menilai volume tumor [13]. Situasi dan keresahan yang terjadi sekarang adalah adanya kesenjangan antara tenaga manusia yang menyebabkan ketidakkonsistensi dengan kondisi ideal yang menuntut proses cepat dan objektif untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti.

Pada penelitian terdahulu, terdapat banyak yang berupaya untuk mengatasi permasalahan ini melalui pendekatan komputasi, mulai dari metode berbasis aturan / *rule-based method* seperti *active contours* hingga algoritma *machine learning* konvensional seperti *random forest* [14]. Pendekatan yang dilakukan menunjukkan peningkatan yang efisien, namun sering kali gagal dalam menangani kompleksitas spasial data MRI karena ketergantungan pada fitur manual yang rentan terkena noise. Maka dari itu, transisi ke *deep learning* (DL) telah merevolusi cara kerja dari segmentasi, dengan menggunakan *convolutional neural network* (CNN) seperti U-Net telah mencapai *Dice Score* rata-rata 0.85 – 0.90 pada dataset standar [15]. Review sistematis memberikan highlight bahwa *deep learning* (DL) mampu mempelajari representasi dari fitur otomatis dan mengurangi waktu pemrosesan hingga 90% dibandingkan dengan manual dan juga meningkatkan konsistensi di berbagai vendor scanner MRI [16]. Namun, beberapa studi awal masih terbatas

pada aplikasi klinis yang terpilih, dengan kurangnya validasi dari kasus eksternal yang menyebabkan overfitting pada spesifik data institusi tertentu [17].

Perkembangan yang sangat signifikan pada implementasi *deep learning* (DL) untuk segmentasi prostat MRI terlihat pada model berbasis 2D, yang dimana memproses irisan gambar secara masing-masing untuk melakukan penghematan pada komputasi [18]. Model seperti 2D U-Net dan variannya yang lain telah diterapkan pada dataset seperti NCI-ISBI (*National Cancer Institute - Internasional Symposium on Biomedical Imaging*) mencapai akurasi pada zonal prostat hingga 88% untuk *Peripheral Zone* (PZ) [19]. Meskipun demikian, menggunakan pendekatan 2D ini telah mengesampingkan konteks volumetrik, menyebabkan adanya diskontinuitas antar-irisan dan *underestimation* volume tumor hingga 10-15% pada kasus dengan infiltrasi 3D [20]. Fenomena ini terjadi dalam studi komparatif, dimana 3D model menunjukkan performa inferior pada data multi-situs karena ketidakmampuan menangkap variasi interslice seperti deformasi prostat akibat posisi dari pasien. Kesulitan ini bertambah ketika jika dibandingkan dengan kebutuhan klinis untuk analisis secara holistik, di mana informasi yang dihasilkan secara 3D itu lebih esensial untuk radiomics dan prediksi prognosis.

Mengatasi keterbatasan dalam pendekatan 2D, pendekatan 3D telah muncul sebagai solusi yang lebih representatif dalam memanfaatkan konvolusi volumetrik untuk menangkap hubungan spasial antar voxel [21]. Studi menunjukkan bahwa 3D CNN seperti V-Net atau 3D U-Net *Dice Score* (DSC) hingga 0.92 pada segmentasi prostat dengan pengurangan *limit loss* hingga 25% dibandingkan 2D [22]. Namun dibalik semua kelebihan itu, tantangan komputasional tetap ada seperti kebutuhan GPU yang tinggi dan juga risiko overfitting pada dataset kecil yang sangat umum pada penelitian medis. Arsitektur adaptif dari U-Net seperti nnU-Net terbukti sangat robust, secara otomatis menyesuaikan *hyperparameter* berdasarkan data input, sehingga mencapai performance *state-of-the-art* (SOTA) pada segmentasi [23].

Kondisi kesenjangan yang terjadi adalah adanya perbedaan antara kemampuan metode yang masih terfragmentasi dengan tuntutan klinis akan segmentasi volumetrik yang akurat dan adaptif, mengharuskan adanya pengembangan model khusus seperti 3D nnU-Net. Model ini tidak hanya melakukan integrasi pembelajaran mendalam dengan preprocessing otomatis, namun juga mendukung adanya transfer learning untuk dataset klinis terbatas, sehingga dapat mengurangi bias dari data institusi. Penelitian ini mempunyai fokus dalam melakukan segmentasi kanker prostat dari gambar MRI, bertujuan untuk mengevaluasi performa model dengan menggunakan data lokal, mengisi celah dengan validasi dari eksternal dan analisa sensitivitas terhadap variasi protokol pencitraan.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah yang diambil berdasarkan latar belakang diatas:

- 1) Bagaimana proses segmentasi prostat dan lesi tumor pada citra MRI dilakukan sebagai tahapan awal dalam penilaian kanker prostat?
- 2) Bagaimana merancang model 3D nnU-Net agar mampu melakukan segmentasi prostat serta tumor secara akurat, termasuk penyesuaian preprocessing, augmentasi, dan strategi pelatihan pada data?
- 3) Bagaimana kinerja model 3D nnU-Net (dari aspek akurasi, konsistensi dan waktu pemrosesan) ketika diterapkan pada data uji?

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini:

- 1) Mengimplementasikan model 3D nnU-Net untuk melakukan segmentasi prostat dan lesi tumor pada citra MRI.
- 2) Mengevaluasi kinerja model 3D nnU-Net dalam tugas segmentasi prostat dan tumor menggunakan metrik akurasi yang relevan.

1.4. Urgensi Penelitian

Penelitian ini memiliki urgensi baik dari sisi medis maupun teknologi. Secara medis, deteksi dini terkait keberadaan lesi tumor sangat penting dalam mendukung

tenaga medis dalam diagnosis dini kanker prostat. Pemeriksaan secara manual pada citra MRI sering kali membutuhkan waktu lama dan sangat rentan terhadap variasi antar pengamat, sehingga proses identifikasi struktur prostat dan juga lesi menjadi kurang akurat dan inkonsisten. Otomatisasi segmentasi prostat dan tumor diharapkan dapat membantu radiolog dalam melakukan penilaian lebih cepat, objektif dan akurat, serta mendukung tenaga medis dalam pengambilan keputusan klinis yang lebih tepat waktu bagi pasien beresiko rendah, sedang, hingga tinggi.

Dari sisi teknologi, menerapkan solusi yang berbasis *deep learning* untuk segmentasi prostat dan lesi pada citra MRI sangat mendorong kemajuan pemanfaatan kecerdasan buatan dalam aspek radiologi. Implementasi segmentasi modern pada dataset medis memberikan pemahaman mengenai tantangan data klinis di setiap pasien yang berbeda-beda, seperti variasi kualitas citra, heterogenitas protokol MRI, dan keterbatasan dari anotasi yang dimana akan memberikan insight bagi model untuk bisa diterapkan dan beradaptasi pada lingkungan klinis nyata.

Selain itu, penelitian ini juga berkontribusi dalam memperkuat pemanfaatan teknologi medis berbasis kecerdasan buatan di lingkungan klinis. Hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memfasilitasi adopsi segmentasi otomatis di rumah sakit maupun institusi akademik yang bergerak di bidang radiologi, sehingga dapat menjadi langkah awal integrasi teknologi dalam sistem pendukung diagnosis. Maka dari itu, penelitian ini nantinya berperan dalam menjembatani kesenjangan antara kemajuan segmentasi modern dengan kebutuhan praktis di lingkungan pelayanan kesehatan.

1.5. Luaran Penelitian

Berikut merupakan luaran penelitian yang akan dihasilkan:

- 1) Artikel Ilmiah: Karya tulis ilmiah yang akan membahas implementasi dan evaluasi model segmentasi prostat dan tumor prostat berbasis 3D nnU-Net pada citra MRI.

- 2) HKI (Hak Kekayaan Intelektual): Pendaftaran HKI untuk hasil karya tulis ilmiah terkait model segmentasi yang dikembangkan.
- 3) Model segmentasi prostat dan tumor prostat: Model yang telah dilatih menggunakan environment PyTorch
- 4) Dokumentasi laporan: Dokumentasi yang mencakup laporan penelitian dan dokumentasi kode yang lengkap

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan dihasilkan dari penelitian ini dibagi menjadi 3 yaitu:

- 1) Manfaat Klinis: Penelitian yang dilakukan ini berpotensi membantu radiologi dalam menilai anatomi dari prostat dan mendeteksi adanya keberadaan lesi tumor dengan lebih cepat, objektif dan konsisten. Segmentasi otomatis yang akurat ini dapat mendukung keputusan dan proses evaluasi klinis dari tenaga medis, terutama dalam perencanaan terapi hingga penilaian progress dari penyakit tersebut.
- 2) Manfaat Teknologi: Implementasi model 3D nnU-Net pada penelitian ini memberikan landasan teknis bagi pengembangan sistem analisa citra medis yang lebih canggih, seperti penilaian berbasis bantuan komputer untuk tumor prostat. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran besar bagaimana model segmentasi berbasis *deep learning* dapat diterapkan secara efektif pada data MRI, sehingga dapat mendorong penggunaan teknologi berbasis AI dalam praktik radiologi.
- 3) Manfaat Akademis dan Riset Lanjutan: Hasil penelitian ini nantinya dapat menambah referensi ilmiah di bidang segmentasi organ terutama prostat dan tumor pada citra MRI. Dokumentasi laporan, proses, hasil evaluasi, hingga implementasi model dapat dimanfaatkan oleh institusi medis, peneliti hingga mahasiswa yang ingin mengembangkan penelitian lanjutan terkait dengan deteksi dan segmentasi kanker prostat.