

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai penerapan segmentasi U-Net untuk deteksi abnormalitas pada citra X-ray paru-paru, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Arsitektur U-Net berhasil diterapkan untuk melakukan segmentasi area paru-paru pada citra X-ray. Model menghasilkan *probability map* yang kemudian dikonversi menjadi *binary mask* untuk memisahkan area paru-paru dari latar belakang. Proses tersebut memungkinkan pembentukan Region of Interest (ROI) paru yang digunakan sebagai dasar analisis pada tahap selanjutnya.
2. *Threshold* 0,5 dipilih sebagai *threshold* optimal pada proses segmentasi. Pengujian beberapa nilai *threshold* menunjukkan bahwa *threshold* 0,5 menghasilkan nilai rata – rata *dice* tertinggi, yaitu 0,9106, dengan median 0,9555 dan standar deviasi 0,0870. Hasil ini menunjukkan bahwa segmentasi pada *threshold* 0,5 memiliki tingkat kesesuaian yang baik dan distribusi performa yang relatif stabil.
3. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model U-Net mampu menghasilkan segmentasi paru dengan performa yang baik. Berdasarkan evaluasi pada data uji, diperoleh nilai rata-rata *Dice* sebesar 0,9106, *IoU* sebesar 0,8464, *Precision* sebesar 0,9084, *Recall* sebesar 0,9211, *Pixel Accuracy* sebesar 0,9516, dan *Specificity* sebesar 0,9637. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap *ground truth* serta mampu mempertahankan sebagian besar area paru yang menjadi target segmentasi.
4. Kesalahan segmentasi relatif kecil pada hasil pengujian. Analisis *error* pada salah satu citra uji menghasilkan *error* sebesar 1,8311%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar piksel hasil prediksi telah sesuai dengan *mask ground truth*.
5. Hasil segmentasi U-Net dapat digunakan untuk membatasi area analisis pada *Region of Interest* (ROI) paru. Dengan membatasi analisis hanya pada area

paru, informasi di luar organ paru dapat dikurangi sehingga proses analisis penyimpangan intensitas dapat difokuskan pada jaringan yang relevan.

6. Analisis penyimpangan menggunakan *Absolute Local Z-Score* memberikan dasar statistik untuk mengidentifikasi piksel yang memiliki penyimpangan terhadap karakteristik citra paru normal. Nilai acuan yang diperoleh dari 40 citra normal memiliki rata - rata sebesar 0,8121, Median 0,7150, dan standar deviasi 0,5802. Beberapa kandidat *threshold* kemudian diuji berdasarkan persentil dan simpangan baku.
7. Penggunaan *threshold* berbasis distribusi citra normal dapat digunakan untuk membentuk peta penyimpangan dan menganalisis area yang memiliki karakteristik berbeda dari jaringan paru normal. Kandidat *threshold* yang diuji meliputi P90, P95, P97,5, P99, rata - rata + 2SD, dan rata - rata + 3SD, dengan nilai P95 sebesar 1,902682 sebagai salah satu *threshold* yang digunakan dalam analisis.
8. Secara keseluruhan, penelitian berhasil membangun pipeline segmentasi paru berbasis U-Net yang dapat menghasilkan *mask* paru, membentuk ROI, serta menyediakan dasar analisis statistik untuk mengidentifikasi penyimpangan pada citra X-ray. Dengan demikian, metode yang dikembangkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem analisis citra X-ray paru yang lebih lanjut, meskipun hasil segmentasi dan analisis abnormalitas masih perlu divalidasi dan dikembangkan sebelum dapat digunakan pada lingkungan klinis.

5.2 Saran Pengembangan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menambah jumlah dan keragaman dataset dengan menggunakan citra X-ray dari berbagai rumah sakit, perangkat pencitraan, kondisi pasien, dan karakteristik citra yang berbeda. Penambahan variasi data diperlukan untuk

menguji kemampuan generalisasi model terhadap data dari sumber yang berbeda.

2. Mengembangkan arsitektur segmentasi yang lebih lanjut seperti *Attention U-Net*, *Residual U-Net*, atau arsitektur U-Net lainnya untuk dibandingkan dengan U-Net standar. Perbandingan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui apakah penambahan mekanisme *attention*, *residual connection*, atau fitur multiskala dapat meningkatkan ketelitian segmentasi, khususnya pada bagian batas paru.
3. Meningkatkan resolusi citra pada tahap pemodelan apabila kapasitas komputasi memungkinkan. Resolusi yang lebih tinggi dapat membantu model mempertahankan informasi detail pada area abnormal yang berukuran kecil.
4. Mengembangkan metode deteksi abnormalitas secara lebih spesifik. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan segmentasi langsung terhadap lesi atau abnormalitas tertentu, misalnya pneumonia, tuberkulosis, nodul, atau fibrosis, sehingga sistem tidak hanya membatasi ROI paru tetapi juga dapat menunjukkan lokasi abnormalitas secara lebih spesifik.
5. Melakukan optimasi *threshold* abnormalitas menggunakan dataset validasi yang lebih representatif. *Threshold* berbasis distribusi citra normal dapat diuji kembali menggunakan jumlah citra normal dan abnormal yang lebih besar untuk memperoleh nilai ambang yang lebih robust.
6. Menambahkan metode analisis citra lainnya, seperti analisis tekstur, morfologi, histogram, *Z-Score*, IQR, atau pendekatan berbasis *connected component*. Kombinasi beberapa karakteristik tersebut dapat digunakan untuk mengurangi *noise* dan meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan penyimpangan yang relevan dengan abnormalitas dari variasi normal citra.
7. Melakukan validasi hasil abnormalitas oleh tenaga medis atau radiolog. Validasi tersebut penting untuk mengetahui apakah area yang ditandai oleh sistem benar-benar berkaitan dengan abnormalitas secara klinis, sehingga hasil penelitian tidak hanya dinilai berdasarkan karakteristik statistik citra.
8. Mengembangkan *dashboard* GUI menjadi sistem pendukung keputusan medis yang lebih lengkap. *Dashboard* dapat dikembangkan dengan menampilkan

citra asli, *probability map*, *lung mask*, ROI, peta abnormalitas, nilai statistik, serta hasil analisis secara terintegrasi. Pengembangan lebih lanjut juga dapat mencakup penyimpanan hasil pemeriksaan dan laporan secara otomatis.

9. Melakukan pengujian pada data eksternal (*external validation*) yang tidak digunakan selama proses pelatihan maupun pengembangan *threshold*. Tahapan ini diperlukan untuk mengetahui kemampuan model dalam menghadapi citra X-ray dari sumber yang benar-benar berbeda.
10. Melakukan pengujian lebih lanjut sebelum penerapan klinis. Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini sebaiknya diposisikan sebagai alat bantu analisis dan bukan sebagai pengganti diagnosis tenaga medis. Pengujian lebih lanjut, validasi klinis, dan evaluasi keamanan diperlukan sebelum sistem dapat diterapkan dalam lingkungan pelayanan kesehatan.