

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit kardiovaskular (PKV) hingga saat ini masih menjadi beban kesehatan global utama dengan angka kematian yang terus meningkat. Berdasarkan data Organisasi Kesehatan Dunia *World Health Organization* (WHO) tahun 2021, PKV merupakan penyebab kematian nomor satu di dunia dengan jumlah kematian sekitar 17,9 juta jiwa per tahun, yang menyumbang lebih dari 32% dari total kematian global (World Health Organization, 2021). Dalam upaya penanggulangan yang efektif, diagnosis yang akurat dan tepat waktu menjadi krusial. Pencitraan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) jantung memainkan peran sentral sebagai modalitas non-invasif dengan resolusi spasial dan kontras jaringan yang optimal, menjadikannya standar emas untuk menilai anatomi, fungsi ventrikel, dan viabilitas miokardium (Ponikowski et al., 2021). Keunggulan utama MRI jantung terletak pada resolusi spasial dan kontras jaringan yang tinggi, tanpa paparan radiasi pengion, sehingga sangat ideal untuk evaluasi berulang. Parameter kuantitatif yang diekstraksi dari citra MRI jantung, seperti volume ventrikel, fraksi ejeksi (*ejection fraction*), dan massa miokardium, menjadi penanda prognostik kritis dalam mendiagnosis dan memantau perkembangan berbagai kondisi kardiovaskular, termasuk gagal jantung, kardiomiopati, dan penyakit jantung koroner.

Namun, ekstraksi parameter kuantitatif tersebut sangat bergantung pada proses segmentasi yang akurat, yaitu identifikasi dan delineasi batas anatomi ventrikel kiri, ventrikel kanan, dan miokardium pada setiap slice citra MRI. Secara konvensional, segmentasi ini dilakukan secara manual oleh ahli radiologi, yang memerlukan waktu yang sangat lama 15-30 menit per pasien, menjadikannya tidak efisien dan membebani sistem kesehatan (Bai et al., 2023). Akibatnya, proses ini tidak hanya tidak efisien untuk aplikasi klinis rutin dengan volume pasien yang tinggi, tetapi juga rentan terhadap variabilitas intra dan inter pengamat yang dapat mencapai perbedaan hingga 10-15% dalam perhitungan volume ventrikel (Bernhardt et al., 2022). Di sisi lain, metode segmentasi otomatis tradisional berbasis *thresholding*, *region-growing*, atau *active contours* seringkali gagal menangani variasi kompleks dalam citra MRI jantung, seperti perbedaan kontras yang rendah antara darah dan miokardium, adanya artefak gerakan pernapasan atau denyut jantung, heterogenitas intensitas (*bias field*), serta variasi anatomi yang besar antar pasien.

Urgensi pengembangan metode segmentasi otomatis yang andal semakin tinggi seiring dengan meningkatnya beban kerja di departemen radiologi dan tuntutan akan diagnostik yang lebih presisi. Solusi berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) diharapkan dapat mentransformasi *workflow* klinis dengan menyediakan alat bantu keputusan yang cepat, objektif, dan dapat direproduksi. Selain meningkatkan efisiensi dan konsistensi, segmentasi otomatis yang akurat juga membuka pintu bagi analisis data skala besar untuk penelitian translasional, seperti penemuan biomarker pencitraan baru dan pengembangan model prediksi risiko. Lebih lanjut, dalam era kedokteran personalisasi, segmentasi yang presisi merupakan fondasi untuk perencanaan terapi yang disesuaikan, misalnya pada prosedur intervensi atau terapi resinkronisasi jantung (Litjens et al., 2019).

Untuk mengatasi keterbatasan ini, Perkembangan arsitektur jaringan saraf *Convolutional Neural Network* (CNN), khususnya U-Net dan berbagai pengembangannya, telah memberikan kontribusi besar dalam meningkatkan kualitas segmentasi citra medis, termasuk pada pencitraan MRI jantung (Yin et al., 2022). Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah mengintegrasikan konsep residual learning dari arsitektur ResNet ke dalam U-Net, yang dikenal sebagai ResUNet atau U-Net berbasis ResNet, dengan tujuan membuat proses pelatihan jaringan menjadi lebih stabil dan efisien ketika kedalaman jaringan ditingkatkan (Xu et al., 2022). Pendekatan ini memungkinkan jaringan untuk mempelajari fitur-fitur kompleks secara lebih optimal serta mempertahankan informasi penting pada batas anatomi ventrikel, yang sering kali sulit dikenali pada citra MRI jantung (He et al., 2016). Meskipun demikian, berbagai penelitian melaporkan bahwa peningkatan performa yang diperoleh dari U-Net berbasis ResNet dibandingkan U-Net konvensional belum sepenuhnya konsisten dan masih dipengaruhi oleh karakteristik dataset, strategi *preprocessing*, serta metode evaluasi yang digunakan (Antonelli et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan kajian yang lebih sistematis dan kuantitatif menggunakan dataset benchmark untuk menilai secara objektif sejauh mana integrasi blok residual benar-benar memberikan keunggulan dalam segmentasi ventrikel jantung pada citra cardiac MRI (Hatamizadeh et al., 2022).

Penelitian oleh Ronneberger dkk. (2015) memperkenalkan arsitektur U-Net untuk segmentasi citra biomedis, yang kemudian menjadi landasan banyak penelitian segmentasi medis termasuk segmentasi jantung. U-Net dengan struktur encoder decoder simetris dan *skip connections* terbukti efektif menangani data terbatas, mencapai *Dice coefficient* 0.87 untuk segmentasi struktur jantung pada dataset MICCAI. Namun, arsitektur ini mengalami

keterbatasan dalam menangani masalah vanishing gradient ketika jaringan menjadi sangat dalam (Ronneberger dkk., 2015).

Penelitian oleh Zhou dkk. (2021) mengembangkan U-Net++ dengan nested skip connections untuk meningkatkan aliran informasi antara encoder dan decoder. Pada dataset segmentasi jantung ACDC, U-Net++ menunjukkan peningkatan Dice coefficient sebesar 1.8% dibandingkan U-Net standar, khususnya untuk segmentasi ventrikel kanan yang lebih kompleks. Namun, kompleksitas arsitektur ini meningkatkan kebutuhan komputasi secara signifikan (Zhou dkk., 2021).

Dalam konteks segmentasi ventrikel jantung, penelitian oleh Chen dkk. (2021) mengimplementasikan Attention U-Net dengan mekanisme attention gates pada skip connections untuk fokus selektif pada region jantung. Model ini mencapai Dice score 0.92 untuk ventrikel kiri dan 0.88 untuk ventrikel kanan pada dataset MICCAI 2017. Namun, penelitian ini mengidentifikasi bahwa model masih mengalami kesulitan pada batas ventrikel yang kabur dan kasus patologis ekstrim (Chen dkk., 2021).

Sebaliknya, penelitian oleh Huang dkk. (2020) mengembangkan DenseUNet yang mengintegrasikan dense connections dari DenseNet ke dalam U-Net. Pada dataset UK Biobank, DenseUNet mencapai akurasi tinggi dengan Dice coefficient 0.94 untuk ventrikel kiri, namun memerlukan waktu pelatihan 40% lebih lama dibandingkan U-Net standar karena kompleksitas koneksinya. Temuan ini menunjukkan trade-off antara akurasi dan efisiensi komputasi (Huang dkk., 2020).

Penelitian oleh Isensee dkk. (2021) mengembangkan nnU-Net sebagai kerangka kerja self-configuring untuk segmentasi medis. Pada kompetisi segmentasi jantung ACDC, nnU-Net mencapai performa terbaik dengan Dice score rata-rata 0.93. Namun, pendekatan ini memerlukan komputasi intensif dan kurang fleksibel untuk modifikasi arsitektur spesifik (Isensee dkk., 2021).

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah disebutkan, dapat disimpulkan bahwa integrasi konsep residual learning kedalam U-Net berpotensi meningkatkan performa segmentasi dengan menjaga efisiensi komputasi. Tantangan utama dalam segmentasi ventrikel jantung antara lain adalah variasi anatomi antar pasien, intensitas piksel yang tidak homogen, batas yang kabur antara miokardium dan darah, serta ketersediaan data terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan arsitektur yang dapat menangani variabilitas tersebut secara efektif dengan komputasi yang efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja arsitektur U-Net berbasis ResNet untuk segmentasi ventrikel jantung pada citra MRI dataset *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* (MICCAI). Penelitian ini berfokus pada analisis kinerja model segmentasi otomatis ventrikel jantung berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) pada citra MRI. Analisis dilakukan melalui proses pelatihan dan pengujian model U-Net berbasis ResNet, dengan mengevaluasi hasil segmentasi terhadap ground truth menggunakan metrik kuantitatif seperti *loss*, *accuracy*, *Dice Similarity Coefficient* (DSC), dan *Intersection over Union* (IoU). Selain itu, dilakukan analisis visual untuk menilai kemampuan model dalam mempertahankan batas anatomi ventrikel secara akurat, yang merupakan aspek penting dalam ekstraksi parameter kuantitatif fungsi jantung.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem segmentasi otomatis untuk citra jantung. Dengan meningkatkan akurasi segmentasi ventrikel, sistem yang dirancang dapat mendukung diagnosis kuantitatif penyakit kardiovaskular dan perencanaan intervensi seperti radioterapi secara lebih efektif. Peningkatan akurasi dalam segmentasi ventrikel jantung akan memberikan parameter klinis yang lebih andal untuk evaluasi fungsi jantung dan membuka peluang untuk integrasi sistem ini dalam alur kerja klinis sehari-hari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang perlu dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja U-Net berbasis ResNet50V2 dalam melakukan segmentasi ventrikel jantung pada citra MRI?
2. Apakah integrasi ResNet pada arsitektur U-Net dapat meningkatkan akurasi segmentasi?
3. Bagaimana kesesuaian hasil segmentasi otomatis terhadap *ground truth* berdasarkan metrik evaluasi kuantitatif seperti *confusion matrix*, *Dice similarity coefficient* (DSC), *Intersection over Union* (IoU)?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus pada permasalahan yang diteliti, penelitian ini memiliki Batasan-batasan sebagai berikut:

1. Segmentasi dibatasi pada ventrikel jantung.
2. Penelitian difokuskan pada analisis kinerja model, tanpa pembahasan klinis lanjutan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis kinerja U-Net berbasis ResNet50V2 dalam segmentasi ventrikel jantung pada citra MRI.
2. Menilai kualitas hasil segmentasi berdasarkan kesesuaian dengan *ground truth*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman dan pengetahuan kepada penulis mengenai proses segmentasi citra MRI jantung menggunakan metode U-Net berbasis ResNet50V2.
2. Membantu meningkatkan efisiensi proses segmentasi ventrikel jantung dengan mengurangi ketergantungan pada segmentasi manual oleh radiolog.
3. Berpotensi mendukung perencanaan terapi dan evaluasi tindak lanjut pasien melalui penyediaan hasil segmentasi ventrikel jantung yang lebih akurat.

1.6 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan dalam proses pengumpulan data

1. Studi Literatur

Langkah yang dilakukan pertama kali dalam penelitian ini adalah mencari dan memilih, mempelajari serta memahami sumber pustaka seperti buku, jurnal, dan artikel yang relevan dengan topik penelitian yang akan dilakukan.

2. Pencarian Basis Data

Metode kedua melibatkan pencarian data yang akan diolah dalam penelitian ini. Data tersebut menggunakan data sekunder yang bersumber dari Kaggle MRI *Segmentation* Dataset jenis *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention* (MICCAI).

3. Pengolahan Data

Metode ketiga melibatkan dalam proses penelitian ini adalah pra-pemrosesan data, yang mencakup pembagian dataset ke dalam data pelatihan (*training data*) dan data pengujian (*testing data*). Proses ini dilakukan menggunakan platform *Google Colaboratory*.

4. Pengumpulan Data

Metode ini melibatkan tahap pengumpulan data hasil pra-pemrosesan, di mana seluruh data disimpan terlebih dahulu di *Google Drive* sebagai media penyimpanan sebelum dilakukan proses pembangunan model atau pengujian lanjutan.

5. Pengujian Model

Tahap akhir adalah proses pengujian, yang bertujuan untuk mengetahui seberapa baik pengujian prediksi dalam model yang sudah dibangun

1.7 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi gambaran umum dan dasar-dasar dalam penyusunan skripsi sesuai dengan judul, seperti latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi kajian kritis yang sistematis tentang aspek atau variabel yang diteliti dengan menggunakan teori, konsep, ataupun peraturan yang relevan.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metodologi penelitian yang di dalamnya membahas tahapan tahapan yang diambil selama penelitian yang memuat jenis penelitian, sampel atau data, metode pengambilan data, jenis dan sumber data.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menganalisis hasil penelitian terkait dengan citra MRI yang digunakan untuk segmentasi ventrikel mengenai tingkat akurasi kinerja model yang dibangun.

5. BAB V PENUTUP

Pada bab ini adalah hasil dari proses penelitian yang akan disimpulkan berdasarkan hasil data yang telah diolah sebelumnya disertai dengan saran untuk penelitian selanjutnya.