

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Aneurisma intrakranial merupakan pelebaran abnormal pada dinding pembuluh darah otak yang dapat mengancam jiwa, dengan tingkat mortalitas mencapai 50% dan risiko kecacatan permanen apabila terjadi ruptur atau pendarahan. Untuk mencegah kondisi fatal tersebut, deteksi dini menjadi hal yang sangat krusial. Salah satu teknik deteksi dini yang paling aman dan direkomendasikan adalah *Time-of-Flight Magnetic Resonance Angiography* (TOF-MRA) karena sifatnya yang non-invasif, tidak memaparkan radiasi, serta tidak menggunakan agen kontras [1]. Namun, evaluasi gambar MRA secara manual mengharuskan dokter radiologi untuk memeriksa irisan gambar tiga dimensi satu per satu. Proses ini memakan banyak waktu dan rentan terhadap ketidaktepatan visual, sehingga lesi (area kelainan anatomi) sering kali terlewatkan apabila aneurisma berukuran sangat kecil (< 3 mm) atau tersembunyi di dekat titik bifurkasi (percabangan) pembuluh darah [1, 2].

Untuk mengatasi keterbatasan diagnosis manual tersebut, kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) muncul sebagai solusi transformatif dalam analisis citra medis. *Convolutional Neural Network* (CNN) sebagai solusi ekstraksi fitur terbukti mampu mengidentifikasi anatomi kompleks secara otomatis guna meningkatkan akurasi diagnosis sekaligus mengurangi beban kerja dokter radiologi [3]. Menurut Zhou et al. [4], pendekatan deteksi objek yang menghasilkan kotak pembatas (*bounding box*) dalam praktiknya dinilai sangat efisien. Berbeda dengan metode segmentasi, deteksi objek mampu menandai dan melokalisasi koordinat spasial dari lesi secara *real-time*, sehingga hal tersebut dapat membantu dokter mengidentifikasi terduga aneurisma dengan cepat [4].

Di antara berbagai algoritma deteksi objek, algoritma *You Only Look Once* (YOLO) mendapat perhatian luas karena kecepatannya menangkap informasi konteks gambar secara global. Perkembangan terbaru pada algoritma ini memperkenalkan Ultralytics YOLO26, yang membawa pembaruan arsitektur untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi pemrosesan secara bawaan. Meskipun memiliki kecepatan tinggi, deteksi aneurisma intrakranial dengan kecerdasan buatan secara umum masih menghadapi tantangan akibat struktur pembuluh darah

otak yang saling tumpang tindih. Hal ini sering kali menyulitkan algoritma untuk mengekstraksi fitur dan melokalisasi area kelainan anatomi tersebut secara tepat [5].

Tinjauan pada penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan adanya celah riset dalam mengoptimalkan performa deteksi aneurisma ini. Penelitian terbaru oleh Kamencay et al. (2025) berhasil membuktikan tingginya kecepatan YOLOv11. Namun, studi tersebut masih berfokus pada penggunaan data CTA, serta menerapkan arsitektur standar tanpa modifikasi khusus untuk menangani objek berukuran sangat kecil [2]. Di sisi lain, studi dari Aykaç et al. (2025) telah menggunakan data TOF-MRA untuk mendeteksi aneurisma, namun mengandalkan Mask R-CNN yang merupakan *two-stage detector* sehingga pengerjaannya jauh lebih lama dan membutuhkan sumber daya komputasi yang besar [1]. Sementara itu, sebagai upaya untuk menyaring struktur anatomi yang saling tumpang tindih, Kim et al. [5] mengusulkan metode *post-processing* berbasis anatomi yang memisahkan jaringan vena dan arteri. Namun, metode ini membutuhkan tahapan tambahan di luar jaringan utama kecerdasan buatan, sehingga meningkatkan kompleksitas dan beban komputasi sistem. Keterbatasan utama dari arsitektur standar saat ini adalah metode pemrosesannya sering kali memberikan tingkat fokus yang sama pada seluruh area gambar. Kondisi ini menyebabkan model kesulitan membedakan fitur anomali pada aneurisma kecil dari jaringan pembuluh darah sehat di sekitarnya tanpa bantuan program tambahan [6].

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem deteksi objek aneurisma intrakranial pada citra TOF-MRA menggunakan model YOLO26 varian *small*. Penerapan model ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan dan efektivitas fitur bawaannya yang telah dioptimalkan secara arsitektural tanpa membutuhkan perubahan struktur manual ataupun komponen tambahan di luar jaringan utama. Melalui pengembangan ini, penelitian bertujuan untuk membuktikan kemampuan model YOLO26 dalam menghasilkan akurasi deteksi aneurisma intrakranial yang optimal dengan tetap menjaga efisiensi penggunaan sumber daya komputasi sistem.

Penelitian ini secara metodologis diposisikan sebagai studi validasi empiris (*validation study*). Li et al. [7] mempublikasikan validasi klinis eksternal terhadap platform kecerdasan buatan pendeteksi aneurisma intrakranial pada citra TOF-MRA tanpa modifikasi arsitektur model, menunjukkan bahwa validasi terhadap model yang sudah ada merupakan genre penelitian yang diakui pada bidang ini. Contoh serupa juga ditemukan pada Kamencay et al. [2], yang mengevaluasi empat varian YOLO dalam bentuk standarnya tanpa modifikasi arsitektur untuk mendeteksi

aneurisma pada citra CTA, dan Portase dan Ardelean [8], yang menyatakan evaluasi arsitektur standar tanpa modifikasi domain menghasilkan metrik dasar yang dapat direplikasi peneliti lain dan membantu mengidentifikasi arsitektur yang paling menjanjikan untuk adaptasi lebih lanjut. Di luar validasi performa model, penelitian ini turut menerapkan kerangka evaluasi klinis bertingkat, yaitu evaluasi tingkat irisan, tingkat lesi melalui agregasi tiga dimensi, dan evaluasi berbasis ukuran fisik lesi, yang lebih menyeluruh dibanding pelaporan satu metrik deteksi objek tunggal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana proses implementasi model YOLO26 varian *small* untuk mendeteksi lokasi aneurisma intrakranial menggunakan kotak pembatas pada citra medis 2D TOF-MRA?
2. Bagaimana tingkat akurasi dan performa yang dihasilkan dari model YOLO26 varian *small* dalam mendeteksi aneurisma intrakranial?

1.3 Batasan Permasalahan

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya menggunakan dataset publik *Lausanne TOF-MRA Aneurysm Cohort* dari repositori *OpenNeuro*.
2. Jumlah dataset yang digunakan sebanyak 284 subjek, yang terdiri dari 127 subjek sehat dan 157 subjek pasien dengan total 198 lesi aneurisma intrakranial.
3. Penelitian ini hanya menggunakan satu modalitas pencitraan, yaitu TOF-MRA.
4. Model hanya mendeteksi satu kelas objek (aneurisma) tanpa membedakan jenis atau subtype aneurisma seperti sakular maupun fusiform.
5. Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini berfungsi sebagai alat bantu skrining awal, bukan sebagai pengganti diagnosis oleh dokter radiologi, sehingga keputusan klinis akhir tetap berada pada tenaga medis yang berwenang.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengimplementasikan model YOLO26 varian *small* untuk mendeteksi lokasi aneurisma intrakranial secara otomatis melalui koordinat kotak pembatas pada data citra medis 2D TOF-MRA.
2. Mengevaluasi tingkat akurasi dan performa yang dihasilkan dari model YOLO26 varian *small* dalam mendeteksi aneurisma intrakranial.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan kontribusi mengenai performa model YOLO26 varian *small* dalam mengenali objek lesi aneurisma intrakranial pada citra vaskular medis.
2. Menjadi referensi tambahan bagi peneliti selanjutnya dalam memanfaatkan model YOLO26 tanpa melibatkan modifikasi struktur jaringan manual untuk mendeteksi aneurisma intrakranial.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan adalah sebagai berikut.

1. Bab 1 PENDAHULUAN
Berisikan latar belakang permasalahan deteksi aneurisma intrakranial pada citra TOF-MRA, beserta rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan laporan secara keseluruhan.
2. Bab 2 LANDASAN TEORI
Membahas penelitian terdahulu yang menjadi acuan, konsep dasar aneurisma intrakranial, prinsip kerja TOF-MRA, teknik preprocessing citra medis, konsep deteksi objek, serta arsitektur model YOLO26 dan metrik evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini.
3. Bab 3 METODOLOGI PENELITIAN
Menjelaskan alur penelitian secara menyeluruh, mulai dari pengumpulan dataset, preprocessing data, perancangan model, perancangan sistem, hingga perancangan evaluasi model.

4. Bab 4 HASIL DAN DISKUSI

Memaparkan hasil implementasi dan evaluasi model, mencakup spesifikasi sistem, hasil preprocessing data, implementasi perancangan model dan sistem, serta hasil evaluasi.

5. Bab 5 SIMPULAN DAN SARAN

Menyajikan simpulan yang menjawab rumusan masalah berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran bagi penelitian selanjutnya untuk mengatasi keterbatasan yang ditemukan.

