

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Fraktur tulang merupakan salah satu kondisi medis yang paling sering dijumpai dalam praktik klinis ortopedi di seluruh dunia. Setiap tahunnya, jutaan kasus fraktur dilaporkan akibat trauma, kecelakaan, cedera olahraga, maupun kondisi patologis seperti osteoporosis [1]. Diagnosis yang akurat dan tepat waktu sangat penting karena menentukan protokol penanganan, perencanaan pembedahan, dan prognosis pemulihan pasien. Kesalahan klasifikasi dapat menyebabkan pemilihan metode treatment yang tidak tepat, memperpanjang masa penyembuhan, dan berpotensi menimbulkan komplikasi seperti malunion atau nonunion tulang [2]. Di Indonesia, keterbatasan jumlah radiologis terlatih memperlambat diagnosis dan meningkatkan beban kerja tenaga medis, sementara rasio radiologis per populasi masih jauh di bawah standar *World Health Organization* (WHO) [3].

Perkembangan teknologi *deep learning* membuka peluang untuk otomasi diagnosis berbasis citra medis. *Convolutional Neural Networks* (CNN) telah dilaporkan dapat mendekati performa manusia dalam berbagai tugas computer vision medis, termasuk deteksi kanker, segmentasi organ, dan klasifikasi penyakit [4]. Untuk deteksi fraktur tulang, arsitektur seperti VGG, ResNet, DenseNet, dan EfficientNet telah dieksplorasi. Penelitian menunjukkan kombinasi VGG-16 dengan Random Forest mencapai akurasi yang lebih tinggi, sementara beberapa arsitektur lain, seperti EfficientNetB0 dengan XGBoost, memiliki performa lebih rendah [5].

Mayoritas penelitian sebelumnya menggunakan *ensemble learning* atau *hybrid methods* untuk meningkatkan akurasi. Ensemble models seperti kombinasi MobileNetV2 [6], VGG16[7], InceptionV3 [8], dan ResNet50 [9] mencapai akurasi yang lebih baik, namun membutuhkan *computational resources* tinggi, waktu inferensi lebih lama, dan sulit disebarkan di fasilitas klinis dengan infrastruktur

terbatas [10]. Pendekatan hybrid yang menggabungkan *handcrafted features* dengan *deep features* juga menunjukkan akurasi tinggi, hingga mendekati tingkat akurasi yang sempurna menggunakan DenseNet121 dengan *Neutrosophic Set* [4], namun tahap *preprocessing* yang kompleks menambah waktu komputasi dan mempersulit pipeline produksi. Sebaliknya, single model architectures lebih efisien secara komputasi, meski akurasinya cenderung lebih rendah [11].

CNN konvensional memiliki keterbatasan dalam *selective feature attention* karena cenderung memproses seluruh region gambar secara setara, padahal hanya sebagian kecil region yang relevan untuk diagnosis fraktur [3][12]. Untuk mengatasi hal ini, *attention mechanism* dikembangkan, termasuk *Convolutional Block Attention Module* (CBAM), yang memungkinkan *network* menimbang pentingnya spatial locations dan feature channels secara adaptif [2]. Meski terbukti meningkatkan performa pada computer vision tasks umum, penerapannya pada medical imaging khususnya klasifikasi fraktur masih terbatas, dan studi perbandingan efektivitas attention mechanism pada ResNet50 untuk multi-class fracture belum tersedia [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model klasifikasi fraktur tulang berbasis ResNet50V2 yang dipadukan dengan *Convolutional Block Attention Module* (CBAM) pada citra X-ray [9]. Fokus penelitian meliputi peningkatan kemampuan model dalam melakukan feature discrimination terhadap pola fraktur, peningkatan kemampuan generalisasi pada dataset dengan variasi kualitas citra, serta optimalisasi representasi fitur melalui integrasi *attention mechanism*, selective fine-tuning, dan multi-scale feature concatenation. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan mengimplementasikan model ke dalam aplikasi berbasis Android sebagai sistem pendukung diagnosis yang lebih praktis, akurat, dan efisien untuk membantu tenaga medis dalam proses deteksi fraktur tulang.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana performa klasifikasi arsitektur ResNet50V2 standar dibandingkan dengan ResNet50V2 yang telah diintegrasikan dengan Convolutional Block Attention Module (CBAM) pada tugas klasifikasi fraktur tulang menggunakan citra X-ray?
2. Bagaimana pengaruh integrasi CBAM terhadap peningkatan kemampuan ekstraksi fitur dan akurasi klasifikasi pada model ResNet50V2?
3. Bagaimana kemampuan generalisasi model ResNet50V2 + CBAM dalam mengklasifikasikan citra fraktur dan non-fraktur pada dataset dengan variasi kualitas citra radiografi?
4. Bagaimana pengaruh selective fine-tuning dan multi-scale feature concatenation terhadap performa model dalam mendeteksi pola fraktur pada citra X-ray?
5. Bagaimana implementasi model ResNet50V2 + CBAM pada aplikasi berbasis Android menggunakan TensorFlow Lite (TFLite) untuk mendukung proses deteksi fraktur secara real-time?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi model klasifikasi fraktur tulang berbasis ResNet50V2 yang dipadukan dengan Convolutional Block Attention Module (CBAM) untuk meningkatkan akurasi deteksi pada citra Xray. Penelitian ini menerapkan integrasi CBAM, selective fine-tuning, dan multi-scale feature concatenation guna meningkatkan kemampuan ekstraksi fitur model terhadap pola fraktur pada citra radiografi. Selain itu, penelitian juga menganalisis performa model menggunakan metrik klasifikasi seperti accuracy, precision, recall, specificity, dan F1-score serta mengimplementasikan model ke dalam aplikasi Android berbasis TensorFlow Lite untuk mendukung deteksi fraktur secara real-time.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman mengenai efektivitas integrasi Convolutional Block Attention Module (CBAM) pada arsitektur ResNet50V2 dalam tugas klasifikasi fraktur tulang berbasis citra X-ray.
2. Menjelaskan bagaimana mekanisme channel attention dan spatial attention pada CBAM memengaruhi proses ekstraksi fitur serta meningkatkan kemampuan klasifikasi model terhadap pola fraktur pada citra radiografi.
3. Menawarkan analisis mengenai peningkatan performa model, kemampuan generalisasi, serta efektivitas representasi fitur pada model deep learning di bidang medical imaging.
4. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan arsitektur deep learning berbasis attention mechanism untuk aplikasi computer vision di bidang kesehatan, khususnya analisis citra medis.

1.5.Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya menggunakan citra X-ray grayscale dan tidak mencakup modalitas pencitraan medis lainnya seperti CT Scan atau MRI.
2. Backbone model yang digunakan dibatasi pada arsitektur ResNet50V2 tanpa melakukan perbandingan dengan arsitektur deep learning lainnya.
3. Attention mechanism yang diterapkan pada penelitian ini hanya menggunakan Convolutional Block Attention Module (CBAM).
4. Dataset yang digunakan berasal dari Rumah Sakit Royal Prima dan terdiri dari 9.924 citra radiografi yang terbagi ke dalam dua kelas, yaitu fracture dan nonfracture.
5. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik klasifikasi seperti accuracy, precision, recall, specificity, dan F1-score tanpa melibatkan validasi klinis langsung oleh radiolog.
6. Model dikembangkan menggunakan pendekatan transfer learning berbasis ImageNet dan tidak dilakukan proses pelatihan model dari awal.

1.6.Keterbaruan

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa arsitektur ResNet50 memiliki performa yang baik dalam analisis citra medis, termasuk pada klasifikasi berbagai jenis penyakit menggunakan citra radiografi dan mammogram [13]. Beberapa penelitian melaporkan bahwa ResNet50 mampu menghasilkan akurasi yang tinggi dibandingkan arsitektur CNN konvensional karena kemampuan residual learning dalam mempertahankan stabilitas pelatihan pada jaringan yang dalam [8][14][15]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih menggunakan arsitektur standar tanpa integrasi attention mechanism, sehingga model belum mampu secara optimal memfokuskan perhatian pada area citra yang memiliki informasi diagnostik penting.

Dalam kasus klasifikasi fraktur tulang, karakteristik retakan pada citra X-ray sering kali memiliki bentuk yang kecil, tidak beraturan, dan sulit dibedakan dari struktur anatomi di sekitarnya [16][17]. Kondisi ini menyebabkan model CNN konvensional terkadang mengalami kesulitan dalam mengekstraksi fitur penting secara lebih spesifik [18]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan Convolutional Block Attention Module (CBAM) ke dalam arsitektur ResNet50V2 agar model dapat meningkatkan kemampuan representasi fitur melalui mekanisme channel attention dan spatial attention[19].

Selain itu, penelitian ini juga menerapkan selective fine-tuning dan multi-scale feature concatenation untuk memperkuat proses ekstraksi fitur pada berbagai tingkat representasi. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan kemampuan generalisasi model, mengurangi kesalahan klasifikasi, serta menghasilkan performa yang lebih baik pada citra radiografi dengan variasi kualitas gambar yang berbeda. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada peningkatan akurasi klasifikasi, tetapi juga pada pengembangan sistem deteksi fraktur yang lebih efisien dan dapat diimplementasikan pada perangkat Android sebagai sistem pendukung diagnosis berbasis mobile [20].