

Aplikasi Artificial intelligence untuk Klasifikasi Lengkungan Kaki: Solusi berbasis Radiografi

Abdul Haris ^{1,*}, Ida Nurhaida ^{1,2}

¹ Program Studi Informatika, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

² Center of Urban Studies, Universitas Pembangunan Jaya, Indonesia

* Correspondence: abdul.haris@student.upj.ac.id

Copyright: © 2025 by the authors

Received: 29 Desember 2024 | Revised: 3 Januari 2025 | Accepted: 28 Januari 2025 | Published: 11 April 2025

Abstrak

Mengetahui jenis lengkungan telapak kaki penting untuk menjaga kesehatan dan kenyamanan. Penelitian menunjukkan bahwa lengkungan *flat foot* dapat menyebabkan pegal dan nyeri, yang dapat mengganggu aktivitas seperti olahraga. Identifikasi menggunakan citra *x-ray* dilakukan sebagai langkah pencegahan untuk mengurangi risiko cedera. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi berbasis *Artificial Intelligence (AI)* untuk mendeteksi jenis lengkungan kaki normal dan *flat foot*, melalui citra *x-ray*. Model *YOLOv8* dengan *bounding box* dikonversi ke format *TensorFlow lite* untuk diintegrasikan ke *platform mobile* melalui *Android Studio*. Aplikasi menggunakan model *waterfall* tanpa pemeliharaan, dimulai dari analisis kebutuhan dataset *x-ray*, pengembangan dan pengujian model *YOLOv8*, konversi ke *TensorFlow lite*, hingga desain, testing *black box*, dan penerapan pada *device android*. Aplikasi ini hanya dapat mengidentifikasi foto *x-ray* telapak kaki tampak kanan dan kiri. Pengujian aplikasi *confusion matrix* dengan 150 *epoch* menunjukkan kinerja dengan *recall* 86,2%, *precision* 77,1%, *accuracy* 83,3%, *mAP50* 94,9%, dan *mAP50-95* 76,2%. Pengujian *black box* pada perangkat *mobile* menggunakan dataset yang diaugmentasi *shear* horizontal 45° dan rotasi 90° menghasilkan akurasi identifikasi maksimal, dibanding metode tradisional seperti *wet foot test*. Metode tradisional mencetak telapak kaki dengan proses identifikasi yang membutuhkan presisi posisi berdiri pasien. Aplikasi ini mendeteksi *flat foot* secara dini, meningkatkan kenyamanan dalam aktivitas harian dan olahraga.

Kata kunci: citra *x-ray*; *flat foot*; identifikasi lengkungan kaki; *tensorflow lite*; *yolov8*

Abstract

Identifying foot arch types is crucial for maintaining health and comfort. Flat foot arches can cause pain and discomfort, potentially interfering with activities such as sports. This research aims to develop an Artificial intelligence (AI)-based application to detect normal and flat foot arch types through X-ray images. The YOLOv8 model with bounding box is converted to TensorFlow Lite format to be integrated into a mobile platform through Android Studio. The application uses a waterfall model without maintenance, starting from the analysis of x-ray dataset needs, development and testing of the YOLOv8 model, conversion to TensorFlow Lite, design, black box testing, and application on Android devices. This application can only identify x-ray photos of the soles of the feet looking right and left. Confusion matrix application testing with 150 epochs shows performance with recall 86.2%, precision 77.1%, accuracy 83.3%, mAP50 94.9%, and mAP50-95 76.2%. Black box testing on mobile devices using datasets augmented with 45° horizontal shear and 90° rotation resulted in maximum identification accuracy compared to traditional methods such as the wet foot test. Traditional methods print the soles of the feet with an identification process that requires precision of the patient's standing position. This app detects flatfoot early, improving comfort in daily activities and sports.

Keywords: *x-ray* imaging; *flat foot*; foot arch identification; *tensorflow lite*; *yolov8*



PENDAHULUAN

Menjaga kesehatan kaki itu penting karena kondisi kaki yang tidak normal, seperti *flat foot*, dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan seseorang. *Flat foot* adalah kondisi hilangnya lengkungan telapak kaki sehingga kaki menjadi datar. Kondisi ini dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada kaki, lutut, dan punggung (Kumala et al., 2019). Faktor penyebab *flat foot* meliputi bawaan lahir, kelemahan otot kaki, atau gaya hidup, seperti kelebihan berat badan atau mengangkat beban berat (Haidar et al., 2023). Dampak jangka panjang orang yang memiliki lengkungan kaki *flat foot* adalah gaya berjalan yang tidak konsisten, karena pertumbuhan pada tumit kaki yang kurang ideal (Kolhe et al., 2024).

Beberapa aktivitas mempengaruhi kenyamanan saat dilakukan, karena efek dari lengkungan kaki *flat foot*. Misalnya, *flat foot* dapat meningkatkan risiko cedera, terutama saat berlari cepat, karena ketidakstabilan kaki dan pergelangan kaki. Ketidakstabilan ini dapat menyebabkan cedera otot, tendon, atau ligamen (Ng et al., 2021). Selain itu, olahraga seperti basket, yang melibatkan aktivitas melompat, juga terpengaruh oleh kondisi *flat foot*. Ketidakmampuan lengkungan kaki untuk mendukung tubuh secara maksimal mengurangi gaya pegas saat melompat (Ho et al., 2019).

Aplikasi identifikasi lengkungan telapak kaki ini dirancang dengan memanfaatkan teknologi *YOLOv8* yang dikonversi ke *TensorFlow Lite* (Hawibowo, 2024) untuk mendeteksi kondisi lengkungan telapak kaki secara *real-time* menggunakan *smartphone* (Rasmila et al., 2024). *TensorFlow Lite* berguna agar model yang di integrasikannya ke aplikasi mobile tidak terlalu berat (Sibuea et al., 2022). Serta solusi untuk yang ingin beraktivitas sehari-hari ataupun olahraga dapat mempersiapkan alas kaki yang cocok dengan mengetahui kondisi lengkungan kaki menggunakan aplikasi identifikasi ini dengan memanfaatkan *smartphone*. Penggunaan *smartphone* untuk proses identifikasi terbukti efektif dalam identifikasi penyakit tuberkulosis (TBC) pada citra *x-ray* (Wahyudi, 2024). Pendekatan ini diharapkan dapat mengatasi keterbatasan metode tradisional seperti *wet foot test*, yang menghasilkan kesalahan jika posisi tubuh tidak tepat pada saat pencetakan kaki disebuah media perhitungan (Rahayu et al., 2021).

Salah satu penelitian menunjukkan bahwa *Arch Height Index* (AHI) dan *arcus pedis* tidak memiliki hubungan langsung dengan kelincahan. Namun, penggunaan berlebihan dapat menyebabkan rasa sakit (Irawan et al., 2020). Penelitian lain menemukan hubungan signifikan antara postur kaki datar dengan keseimbangan statis pada anak usia 12 tahun ($p = 0,000$, $r = 0,716$). Hasil ini menunjukkan bahwa kaki datar memengaruhi keseimbangan statis (Latifah et al., 2021).

Teknologi *wearable sensing shoe* yang dilengkapi sensor dan *Deep Neural Network* (DNN) berbasis *Principal Component Analysis* (PCA) memungkinkan deteksi dini masalah gaya berjalan, dengan AUC mencapai 87,1% (Kim et al., 2020). Data tekanan kaki heterogen telah dimanfaatkan dalam model klasifikasi deformasi kaki dengan menggunakan VGG16 dan k-NN yang dioptimalkan, menghasilkan skor F1 rata-rata 0,9255 dengan standar deviasi 0,0042 melalui validasi silang (Chae et al., 2020).

Teknologi visi komputer juga telah diterapkan untuk pelabelan data baropodometri menggunakan *Python* dan *OpenCV*. Pendekatan ini memberikan dasar yang kuat untuk klasifikasi kelainan kaki (Babović et al., 2023). Selain itu, analisis elemen pola distribusi tekanan menunjukkan bahwa kaki datar dapat diidentifikasi melalui dominasi warna merah, sedangkan kaki normal memiliki pola warna merah dan biru yang seimbang (Savic et al., 2019). Penelitian terdahulu memanfaatkan metode tradisional seperti *wet foot test* yang dikembangkan menjadi AI, agar mempermudah proses identifikasi dengan menggunakan telapak kaki saja.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibowo et al. (2019), mengidentifikasi beberapa kelebihan dan kekurangan dalam metode *wet foot test*. Proses identifikasi hanya dilakukan dengan menggunakan hasil cetakan telapak kaki pasien secara langsung. Selain itu, selama pemindaian, terdapat tantangan terkait posisi pasien yang tidak selalu tegap atau bersandar. Hal

ini dapat memengaruhi hasil identifikasi karena telapak kaki tidak selalu menempel dengan sempurna pada permukaan pemindai. Metode tradisional sulit digunakan karena membutuhkan media cetak presisi saat pasien berdiri. Hingga saat ini, belum ada penelitian yang menganalisis langsung identifikasi berbasis *x-ray* untuk identifikasi telapak kaki dengan dukungan AI.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat aplikasi berbasis kecerdasan buatan yang dapat mengklasifikasikan lengkungan kaki secara efisien menggunakan citra radiografi. Aplikasi ini memanfaatkan model *YOLOv8* yang diintegrasikan dengan *TensorFlow Lite*, sehingga lebih ringan saat diterapkan pada aplikasi berbasis mobile. Penggunaan aplikasi diharapkan dapat mendeteksi jenis lengkungan kaki melalui foto *x-ray* secara cepat dan akurat. Model ini diterapkan dalam konteks untuk mendukung diagnosis mandiri pasien kapan saja dan di mana saja. Oleh karenanya, penggunaan teknologi berbasis *YOLO* diharapkan dapat mempercepat proses diagnosis dengan fitur real-time dengan memanfaatkan kamera *smartphone*.

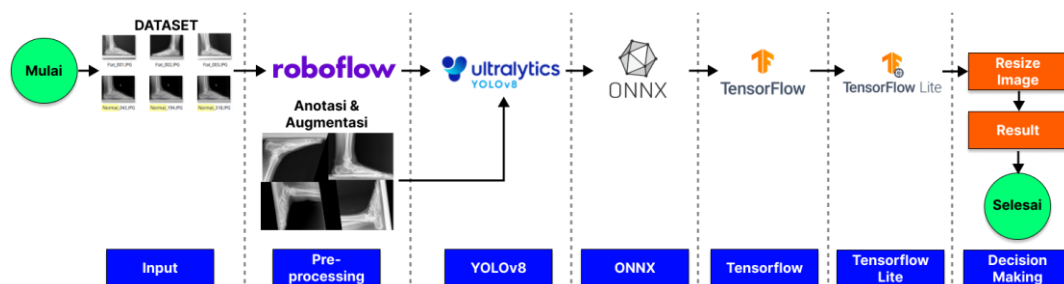
METODE

Penelitian ini mengadopsi model pengembangan aplikasi *waterfall* dengan pengecualian pada tahap pemeliharaan (*maintenance*). Tahapan analisis kebutuhan meliputi penggunaan *Metode Longitudinal Arch Angle* (LAA) digunakan untuk mengukur lengkungan kaki dengan menghubungkan tiga titik anatomi utama: tulang *first metatarsal head*, *navicular tuberosity*, dan *medial malleolus* (Bharat et al., 2024). Sudut 90° menunjukkan lengkungan rendah, sementara 120° - 150° menunjukkan lengkungan normal. Metode ini tidak diterapkan secara manual, tetapi digunakan sebagai referensi untuk mengembangkan model *YOLOv8* yang secara otomatis mengidentifikasi lengkungan kaki normal dan *flatfoot* berdasarkan citra *x-ray* yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Metode LLA

Proses pencarian dataset lengkungan kaki, sedangkan pengembangan mencakup seluruh langkah pembuatan model dari *YOLO* hingga konversi ke *TensorFlow Lite*, tahapan pengujian hanya dilakukan pada model *YOLOv8*. Tahap desain, dan penerapan dilakukan secara terpadu, termasuk penyesuaian kode dan pemasangan aplikasi pada android studio menggunakan koneksi USB. Pengujian aplikasi dilakukan dengan memanfaatkan foto *x-ray* untuk memastikan *fungsi final* aplikasi dengan *confusion matrix*. Alur implementasi aplikasi yang mengikuti metode ini ditampilkan pada gambar 2.

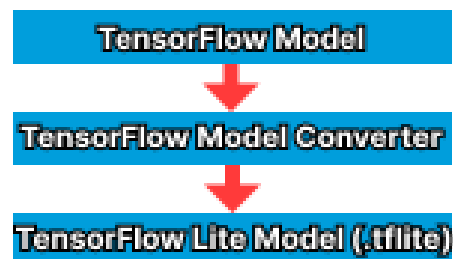


Gambar 2. Alur pembuatan aplikasi identifikasi lengkungan kaki normal dan *flat foot*

Proses penelitian dimulai dengan analisis kebutuhan yaitu pengumpulan dataset, yang dilakukan melalui platform Kaggle. Dataset yang digunakan berupa foto *x-ray* lengkungan

kaki, yang terdiri dari dua kategori, yaitu kaki normal dan *flat foot* dengan kondisi tampak kanan dan kiri telapak kaki saja, dengan total sebanyak 842 foto. Setelah dataset diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *pre-processing*. Tahapan ini mencakup anotasi gambar dengan mengubahnya menjadi format *grayscale* serta augmentasi menggunakan transformasi *shear* dan *rotate*. Proses ini berguna untuk menghasilkan dataset yang lebih variatif dan meningkatkan kinerja model, sehingga identifikasi dapat dilakukan dengan maksimal tanpa terhambat oleh foto yang kurang presisi.

Tahapan pengembangan, pengujian adalah proses pelatihan model menggunakan *YOLOv8*, dengan parameter *epochs* sejumlah 150, *image size* 224, *batch size* 16, dan *learning rate* 0.01 membutuhkan waktu paling lama 60 menit (Alfarizi et al., 2023). Proses ini mencakup evaluasi performa model dengan menggunakan *confusion matrix* sebagai dasar perhitungan untuk memperoleh nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score*. Model *YOLOv8* tidak bisa langsung dikonversi menjadi *TensorFlow Lite*, namun mempunyai beberapa tahapan agar bisa dikonversi. Setelah model dilatih, model *YOLOv8* dikonversi ke dalam format *ONNX* sebagai tahap awal interoperabilitas model. Selanjutnya, model *ONNX* tersebut dikonversi ke *TensorFlow* untuk kompatibilitas yang luas (Prihandoko, 2025). Model *TensorFlow* diubah menjadi *TensorFlow Lite*, yang merupakan versi ringan dari *TensorFlow*. *TensorFlow Lite* solusi untuk perancang khusus perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ponsel, tablet, atau perangkat *IoT*. Dengan mengubah model kompleks menjadi versi yang kecil dan teroptimasi, *TensorFlow Lite* memungkinkan implementasi pada perangkat *mobile* yang dapat digunakan oleh dokter atau pasien yang tidak perlu memiliki spesifikasi *smart phone* yang tinggi seperti yang dilustrasikan pada gambar 3.



Gambar 3. Alur konversi model *tensorflow* ke *tensorflow lite*

Tahap akhir desain & penerapan dilakukan pada proses *decision making*, yang dilakukan menggunakan *platform* kode editor *android studio*. Tahap ini bertujuan untuk menyesuaikan model *YOLOv8* yang telah dikonversi menjadi *TensorFlow Lite* agar dapat diintegrasikan dengan pemrograman *mobile* dari segala sisi, yaitu fitur waktu nyata menggunakan hasil foto kamera *smartphone*, dan fitur non-waktu nyata menggunakan foto dari *gallery smartphone*. Tahapan testing *black box* dilakukan pada *smartphone android* 14 yaitu SDK 34 keluaran tahun 2023 dengan menggunakan foto *x-ray* lengkungan kaki yang sudah dianotasi & augmentasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

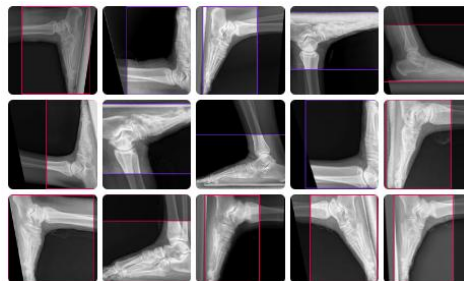
Penelitian dimulai dengan analisis kebutuhan, penelitian mengumpulkan dataset berupa 440 foto *x-ray* kaki normal dan 402 foto kaki *flatfoot* dari tampak samping kanan dan kiri. Dataset ini digunakan untuk identifikasi lengkungan kaki normal dan flatfoot, dengan tahapan *pre-processing* untuk menghasilkan model yang optimal. Selanjutnya yaitu tahapan *pre-processing*, *platform roboflow* menghasilkan dua kelas berbeda, yaitu "normal" dan "flatfoot" pada foto *x-ray*. Pelabelan lengkungan telapak kaki *flat foot* akan berwarna merah, dan pelabelan lengkungan kaki normal akan berwarna biru pada foto. Tahapan ini berguna agar

model bisa mengidentifikasi pada lingkup label saja seperti terlihat pada gambar 4 untuk detail labeling dataset.



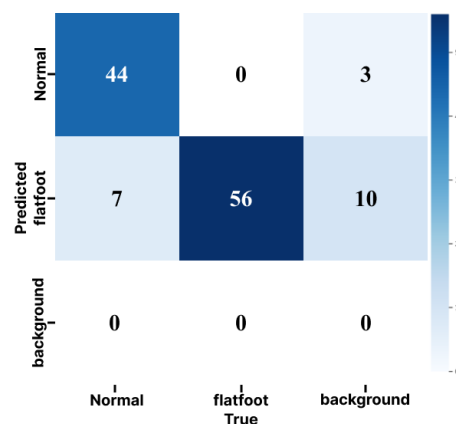
Gambar 4. Detail *labeling* dataset

Setelah tahap pelabelan, dataset dianggap kurang ideal untuk digunakan sebagai model, sehingga perlu dilakukan anotasi dan augmentasi sebelum dikonversi menjadi *YOLOv8*. Proses anotasi dilakukan untuk mengatasi adanya noise pada warna dataset karena pada proses pencetakan *x-ray*, pasien masih menggunakan celana panjang. Dengan mengubahnya menjadi format *grayscale* yang tujuannya untuk mempekecil kontras warna pada pada foto *x-ray*. Setelah anotasi, augmentasi diterapkan untuk meningkatkan keragaman dataset, dengan menggunakan transformasi *shear horizontal 45°* dan *rotasi 90°* berguna agar model bisa mengidentifikasi dalam keadaan hasil foto yang miring dan tidak presisi. Setelah proses augmentasi, jumlah dataset meningkat menjadi 1292 foto, yang diharapkan akan membuat pelatihan model agar maksimal. Pada gambar 5 menunjukkan hasil augmentasi dataset.



Gambar 5. Augmentasi dataset

Selanjutnya tahapan pengembangan, dataset tersebut dikonversi dari platform *roboflow* menjadi *YOLOv8* dan dilatih dengan *epochs/iterasi* sebanyak 150, pelatihan model berguna agar pembelajaran mesin bisa mengenali object foto *x-ray* secara detail. Dan penggunaan aplikasi identifikasi lengkungan kaki berjalan dengan sesuai harapan peneliti. Hasil pengujian sistem menggunakan *confusional matrix*.



Gambar 6. *Confusion matrix*

Confusion matrix pada gambar 6 digunakan untuk mengevaluasi atau pengujian performa model dalam mengklasifikasikan data dengan benar. Nilai-nilai di dalam matriks ini menjadi dasar perhitungan metrik evaluasi seperti *recall*, *precision*, dan *accuracy*. Hasil perhitungan confusion matrix yang ditampilkan akan menjadi acuan utama dalam menganalisis performa model serta diterapkan ke tabel 1 sebagai representasi dari hasil akhir evaluasi.

Model dilatih melalui 150 iterasi untuk dua kelas, yaitu "Normal" dan "flatfoot". Pada kelas "Normal," model mencapai *recall* sebesar 93.6%, *precision* 86.2%, *accuracy* 91.6%, dan *F1-score* 89.9%. Hasil ini menunjukkan bahwa model mampu mengenali 93.6% dari seluruh sampel yang sebenarnya termasuk kelas "Normal" (*recall* tinggi). Namun, dengan *precision* sebesar 86.2%, masih terdapat beberapa *prediksi* yang keliru sebagai "Normal" (*False Positive*), meskipun jumlahnya tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan, dengan *accuracy* 91.6%, model memiliki kinerja yang cukup baik dalam mendeteksi kelas "Normal."

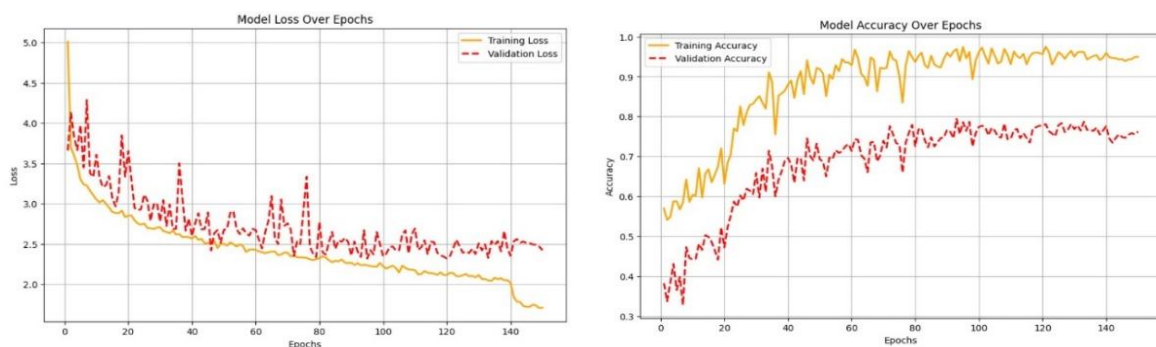
Tabel 1. Hasil akhir perhitungan *confusion matrix*

Kelas	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>	<i>Accuracy</i>
Normal	86,2%	93,6%	89,9%	91,6%
flatfoot	94,9%	84,8%	89,6%	91,6%

Pada kelas "flatfoot", model menghasilkan *recall* sebesar 84,8%, *precision* 94,9%, *accuracy* 91,6%, dan *F1-score* 89,6%. Capaian ini menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi 84,8% dari seluruh sampel yang benar-benar "flatfoot" (*recall* sedang). *Precision* yang tinggi, yaitu 94,9%, menunjukkan bahwa model jarang melakukan kesalahan prediksi untuk kelas ini. Meskipun demikian, *recall* yang rendah menunjukkan bahwa beberapa sampel "flatfoot" tidak terdeteksi (*False Negative*). Hal ini menunjukkan bahwa sensitivitas model terhadap kelas "flatfoot" masih dapat ditingkatkan.

Secara keseluruhan, model menunjukkan performa yang baik dengan *accuracy* konsisten pada kedua kelas, yaitu sebesar 91,6%. *Precision* yang tinggi di kedua kelas menandakan bahwa model jarang melakukan prediksi positif yang salah. Namun, *recall* yang rendah pada kelas "flatfoot" memberikan ruang untuk perbaikan agar sensitivitas terhadap sampel positif bisa optimal.

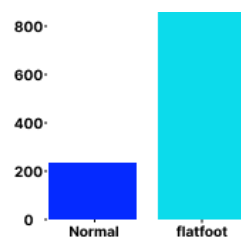
Hasil pelatihan model, akan mendapatkan grafik model *loss over epochs* & model *accuracy over epochs*. Grafik yang menunjukkan perubahan model *loss* dan model *accuracy* selama 150 iterasi pelatihan dapat digunakan untuk mengevaluasi performa model dapat dilihat selama proses iterasi berjalan seperti pada gambar 7. *Model loss over epochs* pada awal pelatihan (0–20 *epochs*), *training loss* mengalami penurunan tajam dari sekitar 4.5 menjadi kurang dari 3.0.



Gambar 7. Model *loss over epochs* & model *accuracy over epochs* 150

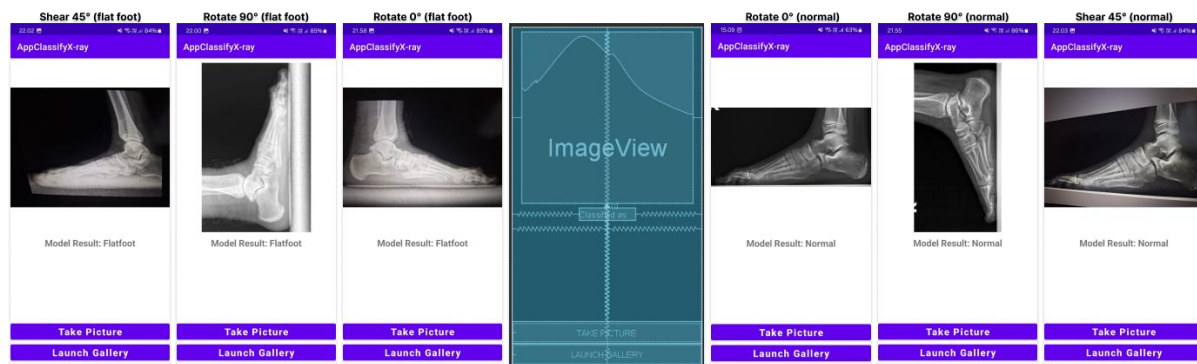
Pada akhir pelatihan (*epoch* ke-150), sebaliknya *validation loss* menunjukkan pola yang fluktuatif. *validation loss* sering mengalami lonjakan, terutama pada *epoch* ke-20 hingga *epoch* ke-80, sebelum stabil secara relatif pada akhir pelatihan. Pola ini mengindikasikan adanya ketidakseimbangan dalam kemampuan model untuk generalisasi terhadap data validasi.

Pada gambar 7 mengenai *model accuracy over epochs*, terlihat peningkatan akurasi pelatihan *training accuracy* yang signifikan pada (0–40 *epochs*), dari sekitar 0.4 hingga mendekati 0.9. Setelah *epoch* ke-40, *training accuracy* terus meningkat secara perlahan dan mendekati 1.0 pada akhir pelatihan, menunjukkan model hampir sempurna dalam memprediksi data. Pada sisi *validation accuracy* mengalami peningkatan yang lambat, dengan fluktuasi yang konsisten di sekitar nilai 0.7–0.8. Ketidakesesuaian antara *training accuracy* yang tinggi dan *validation accuracy* yang rendah serta fluktuatif mengindikasikan bahwa model mulai *overfitting* pada data pelatihan, terutama setelah *epoch* ke-50. Visualisasi *bounding box* pada gambar 8.



Gambar 8. Visualisasi *bounding box*

Setelah pelatihan menggunakan *YOLOv8*, kami menguji sistem menggunakan *confusion matrix* dan mengonversi model yang telah dilatih ke format *ONNX*. Format *ONNX* memungkinkan interoperabilitas antar *framework*, seperti *PyTorch* dan *TensorFlow*. Model yang telah dalam format *ONNX* kemudian dikonversi lagi ke *TensorFlow*, yang memudahkan dalam pemrosesan lebih lanjut. Setelah itu, model *TensorFlow* diubah menjadi *TensorFlow Lite*, yang merupakan versi ringan dari *TensorFlow*, agar dapat digunakan dalam pemrograman *mobile*.



Gambar 9. Tampilan aplikasi identifikasi lengkungan telapak kaki & testing *black box*

Pada tahap terakhir desain, penerapan, diproses *decision making* dilakukan menggunakan *platform android studio*. Pada tahap ini, model yang telah dikonversi menjadi *TensorFlow Lite* diintegrasikan dengan pemrograman *mobile*, dan ukuran dataset disesuaikan menjadi 224 untuk kompatibilitas dengan perangkat *mobile*. Pembuatan aplikasi berhasil dibuat sesuai pada Gambar 9, dengan desain yang sudah dibuat yaitu, *image view* untuk menampilkan gambar *x-ray*, *text box* untuk menampilkan hasil identifikasi, dan dua *button* untuk memilih fitur waktu nyata dan non waktu nyata. Tahapan penerapan menggunakan kabel USB yang dikoneksikan ke *smartphone* lalu aplikasi bisa diinstall. Tahapan testing *black box*

yang dibuat peneliti berhasil, dengan menguji dataset x-ray augmentasi berupa *rotate* 90° & *shear* 45° menghasilkan identifikasi telapak kaki *flat foot*, normal menggunakan *smartphone*.

Kegagalan dalam proses implementasi juga ditemukan. Seperti pada gambar 10, dapat dilihat bahwa foto x-ray kaki normal yang telah dipilih oleh peneliti teridentifikasi sebagai *flatfoot* karena alas yang digunakan tidak sepenuhnya rata. Tekanan dari alas yang tidak rata, menyebabkan lengkungan menjadi tidak terlihat, maka dari itu kegagalan dalam proses identifikasi terjadi.



Gambar 10. Contoh implementasi gagal

Pembahasan

Sebuah perangkat lunak untuk mengidentifikasi telapak kaki normal dan *flat foot* menggunakan foto *x-ray* telah dikembangkan. Proses dimulai dari tahapan analisis kebutuhan, di mana dataset diperoleh dari platform online Kaggle dengan dua kondisi, 440 gambar untuk kondisi normal dan 402 gambar untuk kondisi *flat foot*. Untuk meningkatkan keragaman data, dilakukan anotasi gambar dalam format grayscale serta augmentasi berupa shear horizontal sebesar 45° dan rotasi 90°. Langkah ini bertujuan meminimalkan kesalahan identifikasi akibat kemiringan gambar saat proses pengambilan foto.

Pada tahapan pengembangan dan pengujian, dataset diubah menjadi model *YOLOv8* yang dilatih dalam 150 iterasi. Hasil pelatihan diraih pada masing-masing, yaitu kelas "Normal" menunjukkan *recall* sebesar 93,6%, *precision* 86,2%, *accuracy* 91,6%, dan *F1-score* 89,9%. Untuk kelas "flatfoot", pelatihan menghasilkan *recall* sebesar 84,8%, *precision* 94,9%, *accuracy* 91,6%, dan *F1-score* 89,6%. *YOLOv8* cukup optimal untuk *deployment mobile*, dibandingkan dengan *YOLOv9*, model ini memiliki kompleksitas lebih rendah dan tidak memerlukan perangkat keras dengan spesifikasi tinggi, sehingga lebih efisien pada perangkat *smartphone*. Model *YOLOv8* ini kemudian dikonversi menjadi *TensorFlow Lite* untuk mendukung integrasi dengan aplikasi *mobile*. Tahapan desain, implementasi, dan testing dilakukan di *android studio* untuk memastikan model dapat bekerja secara optimal dalam mendukung identifikasi telapak kaki melalui perangkat *smart phone*.

Saran yang disampaikan oleh penelitian selanjutnya, untuk menambah efisiensi identifikasi dan mengurangi kegagalan pada proses identifikasi adalah memperbanyak dataset *x-ray* agar dapat mendiagnosis lengkungan pada telapak kaki, baik yang normal maupun *flat foot*, dari berbagai sudut pandang kaki manusia. Misalnya, *x-ray* kaki orang dengan kelainan alignment kaki O yang memiliki lengkungan kaki tinggi, kelainan alignment kaki X yang memiliki lengkungan kaki *flat foot*, serta kondisi kaki normal yang memiliki lengkungan kaki normal. Hasil identifikasi dengan menganalisis langsung menggunakan citra x-ray menjadikan aplikasi lebih optimal dengan penggunaannya pada *smartphone*, dibandingkan dengan peneliti sebelumnya yang menggunakan telapak kaki secara langsung untuk proses identifikasi,

berdasarkan posisi cara berdiri pasien yang tidak menentu (Wibowo et al., 2019). Meskipun pada hasil grafik *model accuracy over epochs* ke-50 menyatakan bahwa model ini *overfitting*, tetapi tidak secara signifikan mempengaruhi kemampuan model untuk bisa mendiagnosa foto *x-ray* dengan gambar yang bagus.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa aplikasi identifikasi berbasis AI untuk klasifikasi lengkungan kaki menggunakan citra radiografi berhasil dibuat. Selama pelatihan, model menghasilkan nilai akhir untuk setiap kelas, dengan *recall* sebesar 86.2%, *precision* 77.1%, *accuracy* 83.3%, *mAP50* 94.9%, dan *mAP50-95* 76.2%. Testing *black box* yang diterapkan pada aplikasi sudah sesuai, dengan augmentasi *rotate* 90° & *shear* 45° dan menghasilkan identifikasi yang maksimal. Hasil ini menggambarkan kinerja model dalam mengklasifikasikan lengkungan kaki berdasarkan citra radiografi. Metode LLA menggunakan framework *YOLOv8* dengan fitur *realtime* yang diterapkan di aplikasi ini, membantu proses identifikasi secara optimal karena hanya memanfaatkan hasil foto *x-ray* pada kamera *smartphone*. Konversi model ke *tensorflow lite* memungkinkan aplikasi ini untuk berjalan dengan spesifikasi ponsel yang rendah hingga SDK 23 atau versi *android* 6.0 (*marshmallow*) keluaran tahun 2015. Aplikasi ini dirancang untuk mempermudah dokter dan masyarakat dalam mendiagnosis jenis lengkungan telapak kaki, baik normal maupun *flat foot*, secara cepat dan akurat menggunakan foto *x-ray* sebagai dasar analisis.

REFERENSI

- Alfarizi, D. N., Pangestu, R. A., Aditya, D., Setiawan, M. A., & Rosyani, P. (2023). Penggunaan Metode YOLO Pada Deteksi Objek: Sebuah Tinjauan Literatur Sistematis. *AI dan SPK: Jurnal Artificial Intelligent dan Sistem Penunjang Keputusan*, 1(1), 54-63.
- Babović, S. S., Vujović, M., Stilinović, N. P., Jeftić, O., & Novaković, A. D. (2023). Labeling of Baropodometric Analysis Data Using Computer Vision Techniques in Classification of Foot Deformities. *Medicina*, 59(5), 1-10. <https://doi.org/10.3390/medicina59050840>
- Bharat, Agarwal, Dr. G. C., Anand, D. M. K., & Khokariya, Dr. A. (2024). Anthropometric Measurements of The Medial Longitudinal Arch of Foot in Male and Female Population with Its Clinical Correlation. *Educational Administration Theory and Practices*, 30, 696–708. <https://doi.org/https://doi.org/10.53555/kuey.v30i2.1784>
- Chae, J., Kang, Y.-J., & Noh, Y. (2020). A Deep-Learning Approach for Foot-Type Classification Using Heterogeneous Pressure Data. *Sensors*, 20(16), 4481. <https://doi.org/10.3390/s20164481>
- Haidar, A. R., Nur Ilmi, M., Maisaroh, Dwiyantri, N., As-Syifa, F., Putri Agnesia, D., Faris Naufal, A., Pristianto, A., & Wahyuni. (2023). Pemberian Penanganan Fisioterapi Guna Menangani Permasalahan Flatfoot Pada Atlet PB. Metla Raya Sleman, Yogyakarta. *Easta Journal of Innovative Community Services*, 2, 1–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.58812/ejincs.v2i01.149>
- Hawibowo, M. S. (2024). *Aplikasi Pengklasifikasi Kematangan Pepaya Menggunakan Metode CNN Berbasis Android* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia). <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/50071>
- Ho, M., Kong, P. W., Chong, L. J. Y., & Lam, W. K. (2019). Foot orthoses alter lower limb biomechanics but not jump performance in basketball players with and without flat feet. *Journal of Foot and Ankle Research*, 12(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13047-019-0334-1>
- Irawan, F., Nurrahmad, L., & Permana, D. F. (2020). Classification of Arch Height Index and Arcus Pedis to The Agility. Proceedings of the 5th International Seminar of Public Health

- and Education, ISPHE, 185-191. Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia: EAI. <https://doi.org/10.4108/eai.22-7-2020.2300272>
- Kim, J. Y., Hwang, J. A. Y., Park, E., Nam, H. U., & Cheon, S. (2020). Flat-Foot prediction based on a designed wearable sensing shoe and a PCA-Based deep neural network model. *IEEE Access*, 8, 199070–199080. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3033826>
- Kolhe, P. D., Sharath, H. V, Rathi, S. G., & Patil, D. S. (2024). Effect of Foot Rehabilitation Exercises for Painful Flat Foot in a 20-Year-Old Female: A Case Study Analysis. *Cureus*, 1–9. <https://doi.org/10.7759/cureus.59377>
- Kumala, M. S., Tinduh, D., & Poerwandari, D. (2019). Comparison of Lower Extremities Physical Performance on Male Young Adult Athletes with normal foot and flatfoot. *Surabaya Physical Medicine and Rehabilitation Journal*, 1(1), 6–14. <https://doi.org/10.20473/spmrj.v1i1.16156>
- Latifah, Y., Naufal, A. F., Nafi'ah, D., & Astari, R. W. (2021). Hubungan Antara Postur Flat Foot Dengan Keseimbangan Statis Pada Anak Usia 12 Tahun. *FISIO MU: Physiotherapy Evidences*, 2(1), 1–6. <https://doi.org/10.23917/fisiomu.v2i1.10039>
- Ng, J. W., Chong, L. J. Y., Pan, J. W., Lam, W. K., Ho, M., & Kong, P. W. (2021). Effects of foot orthosis on ground reaction forces and perception during short sprints in flat-footed athletes. *Research in Sports Medicine*, 29(1), 43–55. <https://doi.org/10.1080/15438627.2020.1755673>
- Prihandoko, P., Zufari, F., Yuhandri, Y., & Irawan, Y. (2025). Enhancing Real Time Crowd Counting Using YOLOv8 Integrated with Microservices Architecture for Dynamic Object Detection in High Density Environments. *Kesatria: Jurnal Penerapan Sistem Informasi (Komputer dan Manajemen)*, 6(1), 330-342.
- Rahayu, W., Prianto, C., & Ainun Novia, E. (2021). Perbandingan Algoritma K-Means dan Naïve Bayes Untuk Memprediksi Prioritas Pembayaran Tagihan Rumah Sakit Berdasarkan Tingkat Kepentingan pada PT.Pertamina (Persero). *Jurnal Teknik Informatika*, 13(2), 1–8.
- Rasmila, R., Parhan, M. R., Hadinta, N., & Putra, M. S. (2024). Simulasi Sistem Monitoring Kenaikan Level Air pada Area Rawan Banjir Secara Real-Time berbasis Smartphone Android. *Jurnal Pengembangan Sistem Informasi dan Informatika*, 5(2), 45-53. <https://doi.org/10.47747/jpsii.v5i2.1663>
- Savic, S. P., Lukic, N., Prodanovic, N., & Devedzic, G. (2019). A Comparative FE Analysis of a Flat Foot with and without a Custom-made Orthotic Insole. *The 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, 1-4. Budva, Montenegro: IEEE. <https://doi.org/10.1109/MECO.2019.8760280>
- Sibuea, S., Ikhsan Saputro, M., Annan, A., & Bowo Widodo, Y. (2022). Aplikasi Mobile Collection Berbasis Android pada PT. Suzuki Finance Indonesia. *Maret*, 2(1), 31–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.55606/jitek.v2i1.185>
- Wahyudi, A. A. (2024). *Sistem Deteksi Penyakit Tuberkulosis Berbasis Chest Xray Menggunakan Metode Convolutional Neural Network Pada Platform Android* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang). <https://repository.unissula.ac.id/34034/>
- Wibowo, D. B., Haryadi, G. D., & Pratomo, A. W. (2019). Pengembangan Pemindai Dokumen Menjadi Pemindai Telapak Kaki Untuk Identifikasi Flat Foot. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 2540–7678. <https://doi.org/10.32497/jrm.v14i3.1639>