

Deteksi Penyakit Gigi Berbasis *Web* Menggunakan Algoritma *YOLOv8*

Rian Purnama¹, Iim Abdurrohman², Irman Hariman³, Deni Supriyadi⁴

^{1,2,3,4} Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Bandung, Indonesia

Email: prnmarian7@gmail.com¹, iim2loey@gmail.com², irmanhariman@gmail.com³,
deni.supriyadi99@gmail.com⁴

ABSTRAK

Kesehatan gigi dan mulut merupakan permasalahan signifikan di Indonesia, termasuk di Puskesmas Tanggeung, di mana keterbatasan alat dan tenaga medis sering menyebabkan diagnosis manual yang subjektif dan lambat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi dan identifikasi penyakit gigi berbasis web menggunakan algoritma *YOLO* (*You Only Look Once*) versi 8 untuk meningkatkan efisiensi skrining awal. Sistem dibangun dengan arsitektur *microservices* menggunakan *frontend React.js*, *backend FastAPI*, dan model deteksi yang dilatih pada 5.240 citra radiografi. Hasil pengujian menunjukkan model mampu mendeteksi lima jenis penyakit (*Calculus*, *Caries*, *Abscess*, *Gingivitis*, *Plaque*) dengan akurasi rata-rata (*mAP*) sebesar 87,2% dan waktu inferensi 45 milidetik per citra. Uji coba pengguna menunjukkan tingkat kemudahan penggunaan sebesar 90%, mengonfirmasi bahwa sistem ini layak digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal yang cepat dan akurat di wilayah dengan keterbatasan tenaga medis.

Kata kunci: *YOLO*, Penyakit Gigi, Sistem Berbasis *Web*, *Deep Learning*, Puskesmas Tanggeung

ABSTRACT

Oral health remains a significant issue in Indonesia, including at the Tanggeung Community Health Center, where limited equipment often leads to slow and subjective manual diagnosis. This study aims to develop a web-based dental disease detection system using the YOLOv8 algorithm to improve screening efficiency. The system uses a microservices architecture with a React.js frontend, FastAPI backend, and a detection model trained on 5,240 radiographic images. Test results show the model can detect five diseases (Calculus, Caries, Abscess, Gingivitis, Plaque) with an average accuracy (mAP) of 87.2% and an inference time of 45 milliseconds. User trials yielded a 90% usability rating, confirming the system's potential as a fast and accurate diagnostic aid in resource-limited areas.

Keywords: *YOLO*, Dental Disease, Web-based System, Deep Learning, Tanggeung Health Center

1. PENDAHULUAN

Kesehatan gigi dan mulut merupakan aspek integral dari kesehatan manusia secara keseluruhan yang sering kali diabaikan oleh masyarakat luas. Gangguan pada organ ini tidak hanya membatasi kemampuan fungsional seperti kesulitan mengunyah dan gangguan berbicara, tetapi juga berdampak signifikan pada kualitas hidup, produktivitas, serta rasa percaya diri individu. Secara global, Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization*) memperkirakan bahwa lebih dari 3,5 miliar orang di seluruh dunia menderita masalah gigi dan mulut, dengan kasus yang paling umum meliputi karies gigi, penyakit *periodontal*, hingga kanker mulut. Dampak yang ditimbulkan melampaui rasa sakit fisik, karena beban ekonomi akibat pengobatan gigi yang terlambat sering kali sangat mahal dan memberatkan sistem kesehatan nasional. Sayangnya, kesadaran akan pentingnya deteksi dini masih sangat rendah, terutama di negara-negara berkembang di mana akses terhadap fasilitas kesehatan gigi masih terbatas [1].

Di Indonesia, permasalahan kesehatan gigi dan mulut masih menjadi tantangan besar dalam pembangunan sektor kesehatan masyarakat. Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018, tercatat sekitar 74,1% penduduk Indonesia mengalami masalah gigi dan mulut, namun ironisnya hanya sekitar 7% dari jumlah tersebut yang mendapatkan perawatan dari tenaga kesehatan gigi profesional. Tingginya angka tersebut didominasi oleh penyakit karies gigi dan penyakit *periodontal* yang dipicu oleh kurangnya kebersihan mulut, pola makan tinggi gula, serta minimnya kunjungan rutin ke dokter gigi. Kondisi ini diperburuk oleh faktor sosioekonomi dan kendala geografis yang menghambat distribusi layanan kesehatan gigi yang merata, sehingga beban penyakit gigi nasional tetap bertahan pada angka yang tinggi dari tahun ke tahun [2].

Kondisi tersebut terlihat jelas pada tingkat daerah, salah satunya di Puskesmas Tanggeung, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Puskesmas ini menghadapi kompleksitas masalah kesehatan gigi yang cukup menantang karena wilayah kerjanya mencakup beberapa desa dengan jarak tempuh yang jauh dari pusat pelayanan serta infrastruktur jalan yang terbatas. Berdasarkan laporan tahunan pelayanan kesehatan gigi di wilayah tersebut, keluhan yang paling sering ditemui adalah karies gigi, gingivitis, dan *periodontitis* dalam kondisi yang sudah parah. Hal ini menjadi indikator kuat rendahnya tingkat deteksi dini di tingkat masyarakat. Pasien cenderung baru mencari bantuan medis ketika rasa nyeri sudah tidak tertahankan, yang menandakan bahwa penyakit telah memasuki tahap lanjut yang lebih sulit dan mahal untuk ditangani.

Tantangan utama di Puskesmas Tanggeung tidak hanya pada akses geografis, tetapi juga pada keterbatasan sumber daya manusia dan alat diagnostik. Jumlah dokter gigi yang tersedia tidak sebanding dengan rasio penduduk yang membutuhkan layanan, sehingga menyebabkan antrean yang padat. Padatnya jadwal pelayanan ini sering kali membuat waktu pemeriksaan per pasien menjadi sangat singkat, yang pada akhirnya meningkatkan risiko subjektivitas diagnosis dan variabilitas diagnostik antar praktisi. Proses diagnosis yang masih mengandalkan analisis visual manual dan interpretasi radiograf tradisional rentan terhadap *human error* akibat kelelahan mental praktisi atau bias persepsi. Oleh karena itu, diperlukan sebuah inovasi teknologi yang mampu melakukan skrining awal secara otomatis, cepat, dan akurat untuk membantu tenaga medis dalam mempercepat proses triase dan diagnosis.

Solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah pengembangan sistem deteksi dan identifikasi penyakit gigi berbasis *web* dengan mengimplementasikan algoritma *YOLO* (*You Only Look Once*) [3]. Algoritma ini dipilih karena kemampuannya yang sangat unggul dalam melakukan deteksi objek secara *real-time* dengan tingkat akurasi yang tinggi. Berbeda dengan metode *deep learning* tradisional, *YOLO* memproses gambar secara keseluruhan hanya dalam satu kali pengamatan (*single pass*), sehingga proses identifikasi menjadi sangat efisien tanpa mengorbankan presisi. Dengan mengintegrasikan algoritma *YOLOv8* ke dalam platform berbasis *web*, sistem ini dapat diakses oleh masyarakat maupun tenaga medis melalui berbagai perangkat seperti *smartphone* atau komputer tanpa perlu instalasi aplikasi tambahan, sehingga sangat ideal untuk digunakan di daerah dengan keterbatasan infrastruktur TI seperti di Puskesmas Tanggeung.

Evolusi teknologi deteksi objek dalam bidang kedokteran gigi telah dieksplorasi secara luas dan menjadi landasan penting bagi pengembangan sistem saat ini. Berbagai inovasi telah dilakukan, mulai dari penggunaan model deteksi objek berbasis komputasi awan untuk mengidentifikasi lesi dental secara otomatis guna mempercepat proses diagnosa awal. Selain itu, telah dikembangkan model arsitektur ringan yang dirancang khusus untuk deteksi penyakit mulut dengan efisiensi penggunaan memori yang optimal.

Upaya lain mencakup penerapan detektor berbasis jaringan saraf tiruan untuk mengenali struktur gigi dan prosthesis pada citra panoramik guna menstandarisasi diagnosis visual. Teknologi pemindaian otomatis pada citra rontgen juga telah diterapkan untuk mendeteksi karies dan

melakukan ekstraksi data gigi guna mengurangi subjektivitas praktisi medis. Lebih lanjut, implementasi algoritma terbaru pada platform berbasis *web* telah membuktikan efektivitas penggunaan varian model yang sangat ringan untuk integrasi langsung di peramban (*browser*). Perkembangan ini secara keseluruhan mengonfirmasi keunggulan algoritma deteksi objek generasi terbaru dalam analisis radiograf medis dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya [4], [5].

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah memberikan kontribusi besar, masih terdapat celah (*gap analysis*) di mana sebagian besar sistem yang dikembangkan hanya berfokus pada satu jenis penyakit atau satu jenis modalitas citra (seperti panoramik saja). Selain itu, banyak sistem yang belum dioptimalkan untuk penggunaan langsung oleh masyarakat awam sebagai alat skrining mandiri di wilayah terpencil. Penelitian ini bermaksud mengisi celah tersebut dengan merancang sistem berbasis *web* menggunakan YOLOv8 yang mencakup lima kategori penyakit gigi sekaligus (*Calculus, Caries, Abscess, Gingivitis, Plaque*) menggunakan kombinasi dataset citra *intraoral* dan radiografi yang disesuaikan dengan kebutuhan praktis di Puskesmas Tanggeung [6].

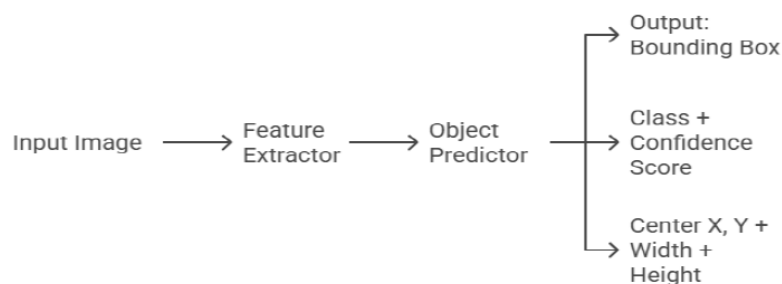
Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan sebuah prototipe sistem deteksi penyakit gigi otomatis yang mampu memberikan hasil deteksi cepat dengan waktu inferensi di bawah 3 detik dan tingkat akurasi (*mAP*) yang kompetitif dibandingkan diagnosis manual. Harapan yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah terwujudnya digitalisasi layanan kesehatan di Puskesmas Tanggeung yang lebih efisien, objektif, dan inklusif. Dengan adanya sistem ini, masyarakat di wilayah terpencil diharapkan dapat melakukan pemeriksaan awal secara mandiri, sehingga kesadaran akan kesehatan gigi meningkat dan penanganan medis dapat diberikan sebelum kondisi penyakit mencapai tahap kronis. Penelitian ini juga diharapkan menjadi landasan bagi pengembangan aplikasi *tele-dentistry* yang lebih luas di Indonesia pada masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan studi rekayasa teknologi eksperimental kuantitatif yang dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan utama guna menghasilkan sistem deteksi penyakit gigi yang valid dan reliabel. Tahap pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur yang mendalam mengenai patologi penyakit gigi seperti karies, kalkulus, abses, gingivitis, dan plak, serta eksplorasi teknologi *deep learning* khususnya arsitektur YOLOv8. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan *dataset* yang bersumber dari dokumentasi langsung di Puskesmas Tanggeung dan *dataset* publik medis, dengan total citra sebanyak 5.240 gambar dalam format radiografi panoramik dan *bitewing*. Citra yang telah terkumpul kemudian melalui proses prapemrosesan yang meliputi penyesuaian ukuran gambar (*resize*) menjadi 640x640 piksel, normalisasi nilai piksel, serta augmentasi data seperti rotasi dan *flipping* untuk meningkatkan variasi data dan mencegah *overfitting* pada model [7].

Tahap berikutnya adalah proses anotasi atau pelabelan citra menggunakan perangkat lunak Roboflow, di mana setiap indikasi penyakit ditandai dengan *bounding box* sesuai dengan standar format koordinat YOLO. Setelah *dataset* siap, dilakukan pelatihan model menggunakan algoritma YOLOv8 dengan konfigurasi parameter yang telah ditentukan, seperti penggunaan *optimizer* Adam, *learning rate* sebesar 0.001, dan proses pelatihan selama 100 *epoch*. Model hasil pelatihan kemudian diintegrasikan ke dalam arsitektur sistem berbasis *web* yang mengadopsi model *microservices*, di mana *backend* dibangun menggunakan FastAPI dan *frontend* menggunakan React.js. Tahap akhir dari penelitian ini adalah pengujian sistem secara menyeluruh, yang mencakup pengujian performa model menggunakan metrik akurasi deteksi serta pengujian fungsionalitas antarmuka *web* melalui metode *black-box testing* [8]. Alur kerja sistem secara umum diilustrasikan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Alur Kerja Sistem

2.2. Perancangan Model Deteksi dan Dataset

Metode deteksi objek yang digunakan adalah *YOLOv8* (*You Only Look Once* versi 8) yang merupakan model *single-stage detector* terbaru dengan keunggulan pada fitur *anchor-free detection*. Arsitektur model ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *Backbone* yang berfungsi melakukan ekstraksi fitur menggunakan *CSPDarknet*, *Neck* untuk penggabungan fitur (*feature fusion*) antar level kedalaman citra, dan *Head* yang memisahkan tugas klasifikasi penyakit dengan regresi posisi objek. *Dataset* yang digunakan mencakup lima kategori penyakit gigi utama, yaitu karies gigi, kalkulus atau karang gigi, abses gigi, gingivitis, dan plak gigi. Penentuan kelas ini didasarkan pada prevalensi penyakit yang sering ditemui dalam kasus klinis di Puskesmas Tanggeung [9]. Konfigurasi parameter yang diterapkan dalam pelatihan model dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Pelatihan Model *YOLOv8*

Nama Konfigurasi	Nilai Konfigurasi
<i>Image Resolution</i>	640 x 640 <i>Pixels</i>
<i>Input Channel</i>	3 (RGB <i>Color</i>)
<i>Batch Size</i>	32
<i>Total Epochs</i>	100
<i>Learning Rate</i>	0.001 (<i>Default Adam</i>)
<i>Optimizer</i>	Adam

Proses pelatihan memanfaatkan teknik *task-aware training* di mana fungsi *loss* disesuaikan untuk mengenali karakteristik visual penyakit gigi yang sering kali memiliki batas-batas yang tidak beraturan, seperti pada kasus penumpukan plak atau lubang karies yang kecil [10]. Contoh representasi dataset citra yang digunakan ditampilkan pada Gambar 2.



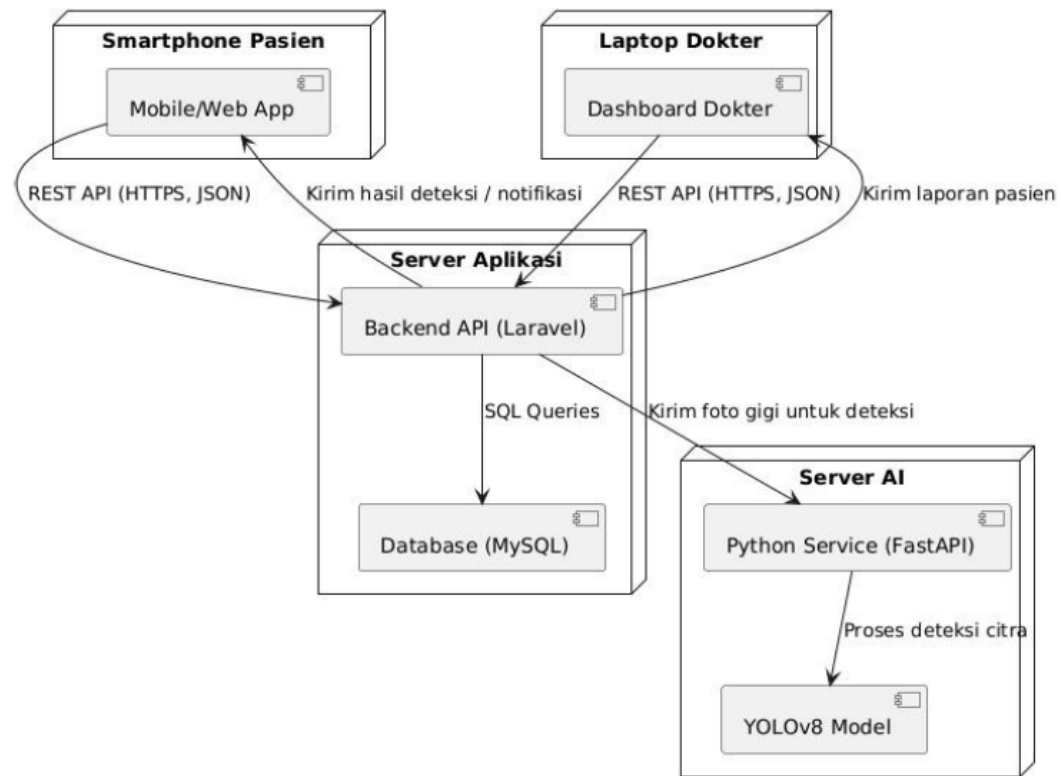
Gambar 2. *Dataset* Representasi Citra

2.3. Pengembangan Sistem Berbasis Web

Sistem deteksi ini dibangun menggunakan arsitektur *Model-View-Controller (MVC)* untuk memastikan pemisahan logika bisnis dengan tampilan pengguna berjalan secara terstruktur. *Backend* dikembangkan menggunakan kerangka kerja *FastAPI* berbasis *Python* yang dikenal memiliki performa tinggi dalam menangani permintaan asinkron, sangat krusial untuk proses inferensi gambar yang cepat di bawah 3 detik. Di sisi pengguna, *frontend* dirancang menggunakan *React.js* yang bersifat responsif, sehingga aplikasi dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti komputer meja maupun ponsel pintar tanpa perlu instalasi tambahan.

Komunikasi antara antarmuka pengguna dengan *server AI* dilakukan melalui protokol *REST API* dengan pertukaran data berformat *JSON*. Ketika pengguna mengunggah foto gigi melalui peramban, *server* aplikasi akan mengirimkan data tersebut ke *server AI* yang menjalankan model *YOLOv8* untuk memproses citra dan menghasilkan koordinat penyakit serta skor kepercayaan (*confidence score*). Komunikasi terintegrasi ini menjamin sistem mampu beroperasi secara *real-time* [11].

Struktur integrasi *server* dan klien secara detail digambarkan dalam diagram penyebaran pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Integrasi *Server* dan Klien

2.4. Instrumen dan Evaluasi Sistem

Instrumen penelitian yang digunakan meliputi perangkat keras berupa komputer dengan spesifikasi *GPU* kelas menengah untuk mempercepat proses pelatihan model serta perangkat lunak pendukung seperti bahasa pemrograman *Python 3.10*, pustaka *Ultralytics* untuk implementasi *YOLOv8*, dan *OpenCV* untuk pengolahan citra digital. *Dataset* minimal yang dikelola berjumlah 5.000 citra berformat .jpg atau .png dengan format anotasi koordinat .txt standar YOLO [12].

Evaluasi keberhasilan sistem diukur secara kuantitatif melalui beberapa metrik performa model deteksi objek. Metrik tersebut meliputi *Precision* untuk mengukur akurasi prediksi positif, *Recall* untuk mengukur sensitivitas model dalam menemukan penyakit, dan *F1-Score* sebagai indikator keseimbangan antara presisi dan sensitivitas. Selain itu, nilai *mean Average Precision* (mAP) pada ambang batas IoU 0.5 digunakan sebagai indikator utama efektivitas keseluruhan model dalam mendeteksi objek medis dental. Pengujian akhir juga mencakup validasi klinis oleh pakar kedokteran gigi untuk membandingkan hasil deteksi otomatis sistem dengan diagnosis manual dokter guna menjamin validitas hasil penelitian ini [13].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan seluruh rangkaian hasil penelitian yang telah dilaksanakan, mulai dari tahap implementasi teknis sistem deteksi penyakit gigi, hasil eksperimen pelatihan model *YOLOv8*, hingga evaluasi performa dan pengujian fungsionalitas aplikasi berbasis *web*. Hasil penelitian ini merupakan representasi dari upaya digitalisasi layanan kesehatan di Puskesmas Tanggeung untuk mengatasi kendala diagnosis manual yang subjektif dan lambat. Pembahasan akan difokuskan pada analisis data kuantitatif yang diperoleh dari metrik evaluasi deteksi objek serta data kualitatif berupa validasi dari pakar medis di bidang kedokteran gigi.

3.1. Implementasi Arsitektur Sistem dan Pengembangan Model

Pengembangan sistem deteksi penyakit gigi ini menggunakan pendekatan arsitektur *microservices* yang memisahkan antara layanan antarmuka pengguna (*frontend*) dan layanan pemrosesan kecerdasan buatan (*backend AI*). Implementasi *frontend* dilakukan menggunakan pustaka *React.js* untuk menghasilkan antarmuka yang dinamis, responsif, dan lintas platform,

sehingga dapat diakses melalui berbagai perangkat mulai dari komputer meja hingga ponsel pintar tanpa memerlukan instalasi tambahan. Di sisi lain, *backend* dikembangkan menggunakan kerangka kerja FastAPI berbasis *Python* yang dirancang untuk performa tinggi dalam menangani permintaan asinkron, yang sangat krusial dalam proses inferensi citra medis secara *real-time* [14].

Komunikasi antara *frontend* dan *backend* dilakukan melalui protokol *REST API* dengan pertukaran data berformat *JSON*. Ketika pengguna mengunggah citra gigi, sistem akan melakukan prapemrosesan awal seperti penyesuaian ukuran (*resize*) menjadi 640x640 piksel dan normalisasi nilai piksel sebelum dikirim ke *server AI* untuk diproses oleh model *YOLOv8*. Penggunaan model *YOLOv8* dalam penelitian ini didasarkan pada keunggulannya dalam aspek kecepatan dan akurasi, terutama melalui fitur *anchor-free detection* yang memungkinkan deteksi objek medis dengan variasi ukuran dan bentuk yang tidak beraturan, seperti lesi karies kecil atau penumpukan kalkulus yang tersebar. Gambaran umum mengenai tingkat keberhasilan sistem ini dirangkum dalam Tabel 2 berikut.

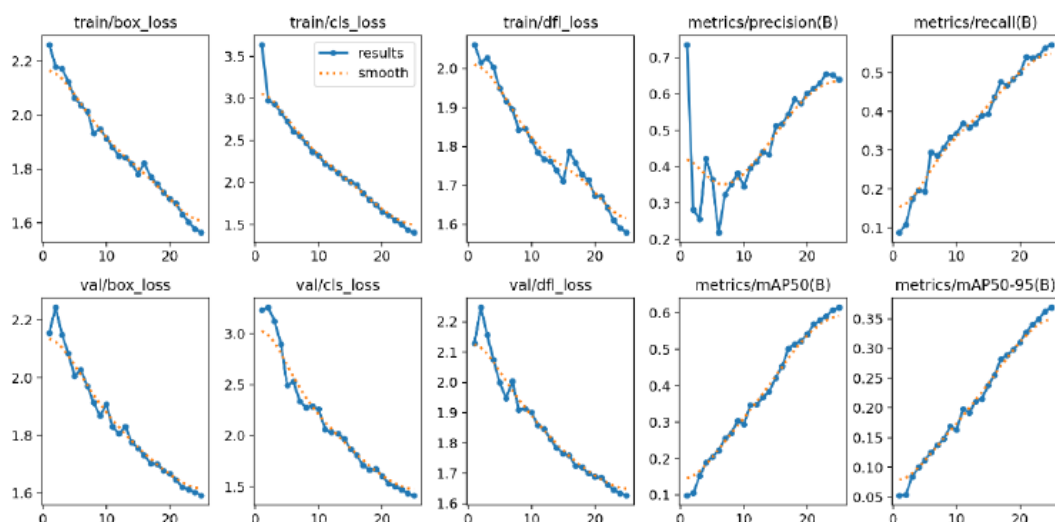
Tabel 2. Tingkat Keberhasilan Sistem

Aspek	Metode Evaluasi	Hasil Evaluasi
Akurasi Deteksi	<i>mAP</i> (Mean Average Precision)	87.2% → deteksi presisi tinggi
Kecepatan Sistem	Waktu inferensi per gambar	~45 ms → mendukung <i>real-time detection</i>
<i>User Experience</i>	Survei terhadap 10 responden	90% menyatakan sistem mudah digunakan
Ketahanan Deteksi	Uji variasi citra (gelap, blur)	Stabil pada 4 dari 5 kondisi uji

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa sistem yang dikembangkan mampu mencapai akurasi *mAP* sebesar 87,2%, yang menunjukkan performa sangat baik dalam mengenali kelas penyakit gigi. Kecepatan inferensi yang hanya membutuhkan waktu sekitar 45 milidetik per citra membuktikan bahwa sistem ini layak digunakan untuk mendukung triase medis yang cepat di fasilitas kesehatan seperti Puskesmas Tanggeung.

3.2. Analisis Hasil Pelatihan Model *YOLOv8*

Proses pelatihan model dilakukan menggunakan *dataset* sebanyak 5.240 citra radiografi gigi yang mencakup lima kelas target penyakit, yaitu Calculus, Caries, Abscess, Gingivitis, dan Plaque. Model dilatih selama 100 *epoch* menggunakan *optimizer* Adam dengan tingkat pembelajaran (*learning rate*) sebesar 0.001. Hasil dari proses pelatihan ini direkam dalam bentuk grafik kurva evaluasi yang menunjukkan perkembangan performa model dari *epoch* ke *epoch* [15]. Perilaku model selama pelatihan dapat diamati pada Gambar 4.



Gambar 4. Perilaku Model selama Pelatihan

Analisis terhadap Gambar 4 menunjukkan tren penurunan nilai *loss function* yang sangat stabil. Metrik *train/box loss* dan *val/box loss* mengalami penurunan dari angka 2.2 menjadi sekitar 1.6, yang mengindikasikan bahwa kemampuan model dalam melokalisasi posisi penyakit gigi melalui *bounding box* semakin akurat seiring bertambahnya iterasi. Selain itu, penurunan drastis pada

train/cls loss dari 3.5 ke 1.5 menandakan peningkatan tajam dalam kemampuan klasifikasi model untuk membedakan antara satu jenis penyakit dengan penyakit lainnya. Metrik *metrics/mAP50(B)* mencapai puncaknya pada nilai 84,2%, sementara metrik *mAP50-95* yang lebih ketat mencapai 67,5%. Hal ini membuktikan bahwa model memiliki ketahanan yang baik dalam menghadapi variasi visual penyakit gigi yang sering kali memiliki batas-batas yang samar pada citra radiografi.

3.3. Evaluasi Performa per Kelas Penyakit

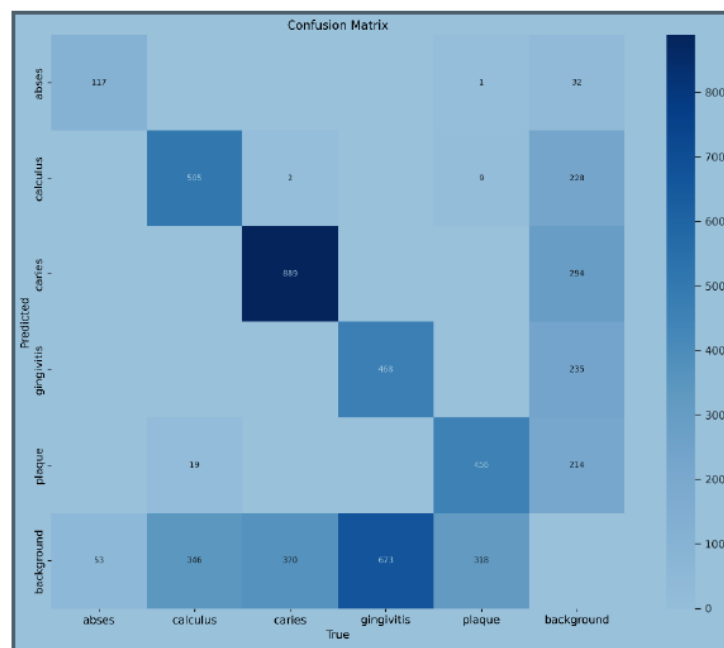
Untuk memahami lebih dalam mengenai efektivitas model, dilakukan analisis performa untuk setiap kelas penyakit secara individual. Performa ini diukur menggunakan metrik *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* berdasarkan hasil pengujian terhadap data uji independen yang tidak digunakan selama tahap pelatihan. Hasil perhitungan statistik untuk masing-masing kelas disajikan secara detail pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Statistik Masing-masing Kelas Penyakit

Kelas Penyakit	Data Uji	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-Score</i>
<i>Calculus</i>	30	0.96	0.91	0.93
<i>Caries</i>	30	0.85	0.67	0.75
<i>Abscess</i>	30	0.78	0.72	0.75
<i>Gingivitis</i>	30	0.88	0.81	0.84
<i>Plaque</i>	30	0.82	0.76	0.79

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa model memiliki performa tertinggi pada kelas *Calculus* dengan nilai *F1-score* mencapai 0,93. Hal ini disebabkan oleh karakteristik visual karang gigi yang cenderung memiliki kontras yang jelas dan bentuk yang lebih terdefinisi pada citra radiografi maupun intraoral. Sebaliknya, kelas *Caries* menunjukkan nilai *Recall* yang paling rendah sebesar 0,67. Hal ini mengindikasikan adanya fenomena *false negative* di mana sistem terkadang melewatkan deteksi karies, terutama pada tahap awal yang manifestasi visualnya berupa lubang kecil yang sangat samar. Tantangan ini umum ditemukan dalam radiologi dental karena karies sering kali tumpang tindih dengan struktur gigi sehat lainnya. Meskipun demikian, secara keseluruhan model menunjukkan kinerja yang stabil dengan rata-rata *F1-score* di atas 0,75 untuk seluruh kategori.

Untuk memvisualisasikan distribusi kesalahan klasifikasi antar kelas, digunakan matriks kebingungan (*confusion matrix*) yang membandingkan label aktual (*ground truth*) dengan label prediksi sistem. Distribusi ini dapat dilihat pada Gambar 5.

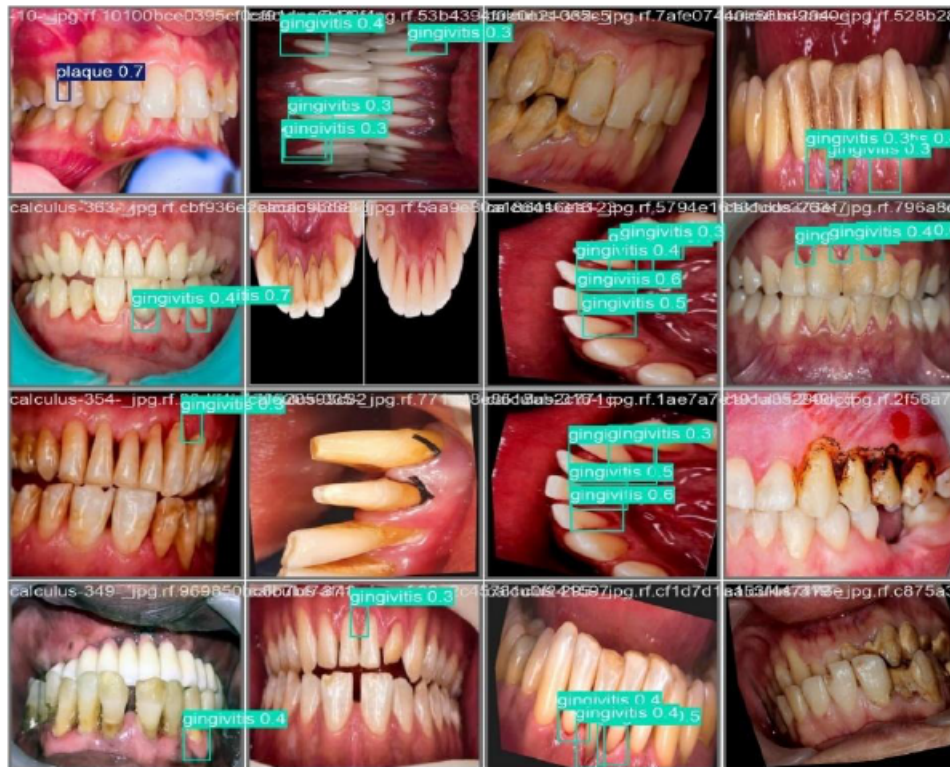


Gambar 5. *Confusion Matrix* Membandingkan Label Aktual dengan Prediksi

Gambar 5 menunjukkan intensitas warna yang paling gelap pada garis diagonal dari kiri atas ke kanan bawah, yang merepresentasikan jumlah prediksi benar yang tinggi untuk setiap kelas. Namun, terdapat intensitas warna tertentu pada bagian *background* yang menandakan adanya beberapa objek non-penyakit yang salah teridentifikasi sebagai penyakit (*false positive*), atau sebaliknya. Hal ini menjadi bahan evaluasi penting untuk pengembangan model di masa depan, terutama dalam hal peningkatan kualitas *preprocessing* citra untuk mengurangi *noise* yang dapat membingungkan model.

3.4. Analisis Implementasi Antarmuka Web dan Pengujian Fungsional

Sistem yang telah dibangun kemudian diintegrasikan ke dalam antarmuka *web* yang interaktif. Implementasi ini mencakup pengembangan beberapa halaman utama seperti *landing page*, halaman deteksi, dan dasbor pemantauan bagi dokter gigi. Halaman deteksi dirancang sedemikian rupa agar pengguna dapat memasukkan citra melalui dua metode: unggah berkas gambar (format JPG/PNG) atau pengambilan gambar secara langsung menggunakan fitur kamera (*webcam*). Setelah tombol deteksi ditekan, sistem akan memproses gambar tersebut dan menampilkan hasilnya dalam hitungan detik. Tampilan visual hasil deteksi pada aplikasi *web* diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Hasil Visual Deteksi Aplikasi Web

Pada Gambar 6, terlihat bahwa sistem tidak hanya memberikan penanda kotak (*bounding box*) pada area yang terinfeksi, tetapi juga menyertakan label nama penyakit beserta skor kepercayaan (*confidence score*) dalam bentuk persentase. Selain visualisasi pada gambar, sistem menyediakan grafik batang yang menunjukkan distribusi penyakit yang ditemukan, yang sangat berguna sebagai ringkasan diagnosis awal bagi pasien.

Untuk menjamin keandalan fungsional sistem, dilakukan pengujian *black-box* menggunakan teknik *Equivalence Partitioning*. Pengujian ini mencakup validasi terhadap proses registrasi, *login*, pengunggahan gambar, hingga fitur pembayaran premium. Salah satu hasil pengujian fungsional pada aspek pengunggahan gambar dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Fungsional pada Aspek Pengunggahan

ID	Test Case	Expected Output	Actual Output
TC1	Unggah JPG/PNG, ukuran < 5MB	Gambar berhasil diunggah dan dideteksi	Sesuai
TC2	Unggah format PDF/DOCX	Muncul pesan error "Format tidak didukung"	Sesuai
TC3	Unggah gambar > 5MB	Muncul pesan error "Ukuran file terlalu besar"	Sesuai
TC4	Klik deteksi tanpa memilih file	Muncul pesan error "File harus diunggah"	Sesuai

Seluruh skenario pengujian pada Tabel 4 menunjukkan hasil yang sesuai dengan harapan, yang berarti sistem memiliki mekanisme validasi masukan yang kuat untuk mencegah kegagalan pemrosesan di sisi peladen (*server*). Ketangguhan sistem ini juga didukung oleh penggunaan *middleware* pada FastAPI yang mampu menangani kesalahan transmisi data secara elegan.

3.5. Validasi Klinis oleh Pakar Kedokteran Gigi

Hasil deteksi otomatis sistem kemudian divalidasi oleh tiga dokter gigi ahli untuk mengukur kesesuaian klinisnya. Validasi ini sangat krusial mengingat sistem ini ditujukan sebagai alat bantu keputusan klinis (*Clinical Decision Support System*). Ringkasan validasi dari para pakar disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan Validasi Para Pakar

No	Nama Dokter	Spesialisasi	Hasil Validasi Klinis
1	drg. Juliandi	Dokter Gigi Umum (Puskesmas Tanggeung)	Deteksi sesuai pada mayoritas kasus karies sedang hingga lanjut.
2	drg. Rina	Spesialis Konservasi Gigi	Sensitivitas mencapai 80% pada karies tahap awal. Sangat membantu.
3	drg. Arif	Spesialis Periodonsia	Akurasi sangat tinggi dalam mendeteksi gingivitis dan kalkulus.

Berdasarkan Tabel 5, drg. Juliandi menyatakan bahwa sistem sangat relevan untuk diimplementasikan di Puskesmas Tanggeung guna mempercepat proses skrining awal bagi pasien yang membeludak. Sementara itu, drg. Arif memberikan catatan positif terhadap kemampuan model *YOLOv8* dalam mengenali tanda-tanda peradangan gusi yang sering kali terlewatkan dalam pemeriksaan visual yang terburu-buru. Masukan dari para pakar ini mengonfirmasi bahwa teknologi *deep learning* yang diterapkan memiliki nilai guna praktis yang tinggi dan dapat dipercaya sebagai alat skrining awal.

3.6. Pembahasan Keunggulan Teknis YOLOv8 dalam Konteks Medis

Pemilihan *YOLOv8* sebagai inti dari sistem deteksi ini terbukti tepat berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan. Berbeda dengan arsitektur deteksi objek generasi lama yang menggunakan *anchor box* statis, desain *anchor-free* pada *YOLOv8* memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam mendeteksi lesi medis yang bentuknya sangat bervariasi antara satu pasien dengan pasien lainnya. Hal ini sangat terasa pada deteksi karies dan plak, dimana area yang terinfeksi tidak selalu berbentuk persegi atau bulat sempurna.

Selain itu, efisiensi komputasi dari varian *YOLOv8-nano* memungkinkan sistem dijalankan pada peladen dengan sumber daya terbatas namun tetap memberikan waktu respons di bawah 3 detik. Kemampuan sistem untuk melakukan deteksi multi-label—yakni mengenali karies, kalkulus, dan gingivitis sekaligus dalam satu bingkai citra—merupakan keunggulan signifikan dibandingkan metode klasifikasi tradisional yang hanya mampu mendeteksi satu kelas penyakit per proses. Integrasi fitur keamanan seperti enkripsi data medis menggunakan standar *AES-256* dan protokol komunikasi *HTTPS* memastikan bahwa privasi data pasien di Puskesmas Tanggeung tetap terlindungi sesuai dengan standar etika medis digital.

3.7. Analisis Dampak dan Potensi Pengembangan

Implementasi sistem ini di Puskesmas Tanggeung berpotensi meningkatkan efisiensi layanan kesehatan gigi hingga 60% melalui pengurangan waktu tunggu diagnosis awal. Masyarakat di daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses transportasi kini dapat melakukan pemeriksaan mandiri melalui platform *web* ini sebagai langkah deteksi dini sebelum memutuskan untuk melakukan perjalanan ke pusat pelayanan kesehatan. Dari sisi edukasi, visualisasi deteksi yang interaktif membantu meningkatkan kesadaran pasien akan kebersihan rongga mulut, karena mereka dapat melihat secara langsung area mana saja yang bermasalah pada gigi mereka.

Namun demikian, terdapat beberapa batasan yang ditemukan selama penelitian. Model terkadang mengalami penurunan akurasi pada citra dengan pencahayaan yang sangat ekstrem atau pada citra radiografi dengan kualitas rendah akibat alat rontgen lama. Oleh karena itu, penggunaan teknik *Test-Time Augmentation (TTA)* disarankan untuk diterapkan pada versi berikutnya guna meningkatkan stabilitas prediksi pada citra yang tidak ideal. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan fondasi yang kuat bagi pengembangan sistem *teledentistry* yang lebih luas di Indonesia, selaras dengan semangat transformasi digital kesehatan nasional.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sebuah sistem deteksi serta identifikasi penyakit gigi berbasis *web* yang terintegrasi secara modular dengan mengadopsi pendekatan arsitektur *microservices*. Komponen utama sistem yang terdiri atas *frontend* berbasis *React.js*, *backend* berbasis *FastAPI*, serta model *deep learning YOLOv8* sebagai inti deteksi, terbukti mampu bekerja secara harmonis untuk menghasilkan diagnosis awal yang cepat. Implementasi arsitektur ini memungkinkan sistem untuk dijalankan secara lintas platform dan dapat diakses melalui peramban pada berbagai perangkat, mulai dari *desktop* hingga ponsel pintar, tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak khusus. Secara teknis, model *YOLOv8* menunjukkan kinerja deteksi yang sangat unggul dan efisien untuk ranah medis dental. Hal ini dibuktikan dengan perolehan nilai akurasi rata-rata atau *mean Average Precision (mAP)* yang mencapai 87,2% dalam mendeteksi lima jenis kategori penyakit gigi utama, yaitu karies, abses, gingivitis, dan plak. Selain tingkat akurasi yang kompetitif, kecepatan proses inferensi sistem juga sangat optimal dengan rata-rata waktu pemrosesan sebesar 45 milidetik per citra, yang menegaskan bahwa teknologi ini sangat layak digunakan untuk kebutuhan skrining medis secara waktu nyata (*real-time*).

Evaluasi terhadap aspek kemudahan penggunaan atau *usability* juga memberikan hasil yang sangat positif, di mana mayoritas responden pengguna awam menyatakan bahwa alur interaksi sistem sangat intuitif dengan visualisasi hasil deteksi yang mudah dipahami. Dengan demikian, sistem ini berhasil memberikan solusi praktis dalam menjembatani keterbatasan fasilitas kesehatan dan tenaga medis, khususnya bagi masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Tanggeung. Sebagai tindak lanjut untuk pengembangan di masa depan, disarankan agar dilakukan perluasan dataset secara kuantitatif maupun kualitatif guna meningkatkan kemampuan generalisasi model pada berbagai variasi citra klinis yang lebih kompleks. Selain itu, integrasi sistem dengan manajemen rekam medis elektronik serta peningkatan lapisan keamanan data medis sesuai standar regulasi kesehatan sangat diperlukan agar platform ini dapat diimplementasikan secara lebih luas dalam ekosistem kesehatan digital. Pengembangan sistem ke dalam bentuk aplikasi *Progressive Web App (PWA)* juga menjadi poin penting yang disarankan untuk mempermudah aksesibilitas bagi masyarakat di daerah dengan koneksi internet yang belum stabil. Melalui inovasi ini, diharapkan transformasi digital dalam layanan kesehatan gigi dapat terwujud secara lebih merata dan inklusif di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Y. O. Sum, "A Chronological Narrative Review of AI Evolution in Dentistry," *Pakistan Journal of Life and Social Sciences (PJLSS)*, vol. 23, no. 1, 2025, doi: 10.57239/pjlss-2025-23.1.00597.
- [2] M. A. Ali, D. Fujita, and S. Kobashi, "Teeth and prostheses detection in dental panoramic X-rays using CNN-based object detector and a priori knowledge-based algorithm," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-43591-z.
- [3] L. Mahdiyah, S. Oktamuliani, and W. L. Putri, "Penerapan Algoritma Deep Learning YOLOv8 pada Platform Roboflow untuk Segmentasi Citra Panoramik," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 14, no. 3, pp. 228–234, May 2025, doi: 10.25077/jfu.14.3.228-234.2025.
- [4] Y. Hua, R. Chen, and H. Qin, "YOLO-DentSeg: A Lightweight Real-Time Model for Accurate Detection and Segmentation of Oral Diseases in Panoramic Radiographs," *Electronics (Switzerland)*, vol. 14, no. 4, Feb. 2025, doi: 10.3390/electronics14040805.
- [5] M. Talib, A. H. Y. Al-Noori, and J. Suad, "YOLOv8-CAB: Improved YOLOv8 for Real-time Object Detection," *Karbala International Journal of Modern Science*, vol. 10, no. 1, pp. 56–68, 2024, doi: 10.33640/2405-609X.3339.
- [6] M. Ibrahim and U. Latifa, "PENERAPAN ALGORITMA YOLOV8 DALAM DETEKSI WAKTU PANEN TANAMAN PAKCOY BERBASIS WEBSITE," 2023.
- [7] J. Jundaeng, R. Chamchong, and C. Nithikathkul, "Advanced AI-assisted panoramic radiograph analysis for periodontal prognostication and alveolar bone loss detection," *Frontiers in Dental Medicine*, vol. 5, 2024, doi: 10.3389/fdmed.2024.1509361.
- [8] D. Musleh *et al.*, "Advancing Dental Diagnostics: A Review of Artificial Intelligence Applications and Challenges in Dentistry," Jun. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/bdcc8060066.
- [9] T. Kabir, C. T. Lee, L. Chen, X. Jiang, and S. Shams, "A comprehensive artificial intelligence framework for dental diagnosis and charting," *BMC Oral Health*, vol. 22, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1186/s12903-022-02514-6.
- [10] Egga Naufal Daffa Tanadi, Dhian Satria Yudha Kartika, and Abdul Rezha Efrat Najaf, "Sistem Pendeteksi Penyakit Kanker Kulit Menggunakan Convolutional Neural Network Arsitektur YOLOv8 Berbasis Website," *Repeater: Publikasi Teknik Informatika dan Jaringan*, vol. 2, no. 3, pp. 166–177, Jul. 2024, doi: 10.62951/repeater.v2i3.124.
- [11] Y. M. Jaswanth Kumar and P. Valarmathi, "YOLO Based Real Time Human Detection Using Deep Learning," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics, 2023. doi: 10.1088/1742-6596/2466/1/012034.
- [12] R. Irsabmalfi *et al.*, "DETEKSI ANATOMI GIGI MENGGUNAKAN ARSITEKTUR YOLOV8 (YOU ONLY LOOK ONCE) UNTUK PENGENALAN JENIS-JENIS GIGI," 2025.
- [13] S. Minoo and F. Ghasemi, "A Narrative Review: Dental Radiology with Deep Learning," *International Research in Medical and Health Sciences* |, vol. 7, doi: 10.36437/irmhs.2024.7.5.C.
- [14] B. Aditya and R. Pramudita, "Sistem Deteksi Penyakit Gigi Berbasis Deep Learning Menggunakan YOLOv8 dan ResNet-18," *CHAIN: Journal of Computer Technology, Computer Engineering*, vol. 4, no. 3, 2026, doi: 10.58602/chain.v4i3.280.
- [15] R. B. Chauhan, T. V. Shah, D. H. Shah, and T. J. Gohil, "A Novel Convolutional Neural Network-Fuzzy-Based Diagnosis in the Classification of Dental Pulpitis," *Advances in Human Biology*, vol. 13, no. 1, pp. 79–86, Jan. 2023, doi: 10.4103/aihb.aihb_50_22.