



## *Detection of Children's Dental Conditions in Panoramic Radiography Using YOLOv8 and Image Enhancement Techniques*

### **Deteksi Kondisi Gigi Anak pada Radiografi Panoramik Menggunakan YOLOv8 dan Teknik Peningkatan Citra**

**Khoifah Inda Maula<sup>1</sup>, Chastine Fatichah<sup>2\*</sup>, Hilya Tsaniya Ismet<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

<sup>3</sup>Departemen Informatika, Universitas Telkom, Indonesia

E-Mail: <sup>1</sup>6025221022@student.its.ac.id,

<sup>2</sup>chastine@if.its.ac.id, <sup>3</sup>hilyatsaniyaismet@telkomuniversity.ac.id

Received Dec 10th 2025; Revised Dec 31th 2025; Accepted Jan 15th 2026; Available Online Jan 31th 2026

Corresponding Author: Chastine Fatichah

Copyright ©2026 by Authors, Published by Institut Riset dan Publikasi Indonesia (IRPI)

#### **Abstract**

*Dental panoramic imaging is a radiographic technique that provides a comprehensive view of the teeth, jaws, and other supporting tissues in a single image, making it widely used for initial diagnosis and treatment planning, especially in pediatric patients. However, the unique characteristics of children's teeth, such as mixed dentition and dynamic changes in tooth position, make image interpretation more complex. In addition, suboptimal image quality, such as low contrast and uneven X-ray distribution, can hinder accurate detection. This study aims to improve image quality and to automatically detect pediatric dental panoramic images using You Only Look Once (YOLO), which is known to excel in speed and accuracy of object detection. The image enhancement process uses three techniques: Histogram Equalization (HE), Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), and gamma correction. The test results show that applying CLAHE provides the best detection performance compared to HE and gamma correction methods. Based on the analysis of evaluation metrics, CLAHE proved optimal for leveling local contrast and suppressing noise, enabling YOLOv8 to extract complex pediatric dental features. In conclusion, the combination of the CLAHE preprocessing method and the YOLOv8 detection model is the most effective approach for addressing image quality issues and is recommended for developing an automatic diagnostic system for pediatric dental panoramic images.*

*Keywords: Children's Teeth, Dental Panoramic, Image Enhancement, Object Detection, YOLO*

#### **Abstrak**

Citra panoramik gigi merupakan teknik radiografi yang memberikan gambaran menyeluruh terhadap struktur gigi, rahang, serta jaringan pendukung lainnya dalam satu citra, sehingga banyak digunakan untuk diagnosis awal dan perencanaan perawatan, khususnya pada pasien anak-anak. Namun, karakteristik gigi anak yang unik seperti keberadaan gigi campuran dan perubahan posisi gigi yang dinamis mengakibatkan interpretasi citra menjadi lebih kompleks. Selain itu, kualitas citra yang kurang optimal seperti kontras rendah dan distribusi sinar-X yang tidak merata dapat menghambat proses deteksi secara akurat. Penelitian ini bertujuan meningkatkan kualitas citra serta melakukan deteksi otomatis citra panoramik gigi anak menggunakan *You Only Look Once* (YOLO) yang dikenal unggul dalam kecepatan dan akurasi deteksi objek. Proses peningkatan citra dilakukan dengan tiga teknik, yaitu *Histogram Equalization* (HE), *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), dan *gamma correction*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan CLAHE memberikan performa deteksi terbaik dibandingkan dengan metode HE maupun *gamma correction*. Berdasarkan analisis metrik evaluasi, penggunaan CLAHE terbukti paling optimal dalam meratakan kontras lokal dan menekan noise, sehingga YOLOv8 dapat mengekstraksi fitur gigi anak yang kompleks. Sebagai kesimpulan, kombinasi metode prapemrosesan CLAHE dan model deteksi YOLOv8 merupakan pendekatan yang paling efektif untuk mengatasi permasalahan kualitas citra dan direkomendasikan untuk pengembangan sistem diagnosis otomatis citra panoramik gigi anak.

Kata Kunci: Deteksi Objek, Gigi Anak, Panoramic Gigi, Peningkatan Citra, YOLO.



## 1. PENDAHULUAN

Teknologi yang terus berkembang membawa dampak perubahan dalam bidang kedokteran gigi, khususnya membantu dokter dalam pemeriksaan radiografi citra panoramik gigi. Pemeriksaan radiografi ini, memberikan gambaran secara keseluruhan mulai dari struktur gigi, rahang atas dan bawah serta jaringan pendukung dalam satu gambar [1]. Pemeriksaan ini juga membantu dokter gigi dalam mendeteksi berbagai kelainan pada gigi seperti karies, pulpitis, penyakit periodontal, hingga kelainan tulang rahang. Oleh karena itu, citra panoramik gigi mampu memudahkan dokter gigi dalam melakukan diagnosis awal dan perencanaan perawatan [2].

Namun, kualitas citra radiografi panoramik gigi sering terpengaruh oleh distribusi sinar X yang tidak merata, adanya noise serta kontras gambar yang rendah [1]. Hal tersebut semakin kompleks ketika diterapkan pada pasien anak-anak yang masih pada tahap pertumbuhan dan perkembangan gigi. Struktur gigi anak berbeda dengan orang dewasa mulai dari adanya gigi campuran (susu dan permanen), ukuran gigi yang bervariasi dan perubahan posisi gigi yang dinamis seiring pertumbuhan [3], [4]. Kondisi seperti ini mengakibatkan pemahaman bahwa citra panoramik secara manual membutuhkan keahlian tinggi dan rentan terhadap subjektivitas antarpraktisi. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem berbasis teknologi yang mampu membantu dokter gigi dalam menganalisis citra secara cepat, objektif dan konsisten [5]

Beberapa tahun terakhir, Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence/ AI*), khususnya *deep learning*, banyak diterapkan dalam menganalisis citra medis seperti kedokteran gigi. Beberapa penelitian melakukan peningkatan citra atau *image enhancement* pada prapemrosesan data medis untuk memperbaiki kualitas citra sebelum diimplementasikan pada model. Teknik seperti *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) mampu membantu radiolog mendeteksi lesi paru yang sebelumnya tidak terlihat jelas dalam X-ray pasien COVID-19 [6]. Selain itu, CLAHE juga diterapkan oleh Rahman, dkk pada kumpulan data gigi yang menjelaskan bahwa CLAHE mampu menunjukkan kejelasan citra dan detail yang lebih baik dibandingkan citra asli [7]. Pada penelitian lain, teknik peningkatan citra *gamma correction* juga mampu memperbaiki kualitas citra, kontras dan detail dari citra paru [8].

Dalam konteks deteksi objek pada citra medis, berbagai penelitian menunjukkan bahwa model berbasis *You Only Look Once* (YOLO) mampu melakukan deteksi objek secara cepat dan efisien pada citra panoramik [9], [10]. YOLO merupakan algoritma deteksi objek satu tahap (*one-stage detector*) yang mampu mendeteksi banyak objek sekaligus dalam satu proses inferensi [11]. Dibandingkan model dua tahap seperti Faster R-CNN, YOLO memiliki keunggulan dari sisi kecepatan dan efisiensi, sehingga sangat cocok untuk aplikasi klinis *real-time* [12]. Beberapa penelitian menunjukkan efektivitas YOLO dalam analisis citra dental bahwa YOLOv3 mampu mendeteksi karies dengan kecepatan tinggi, meskipun hasil akurasi masih di bawah Faster R-CNN [9]. Penelitian oleh Besar, dkk menerapkan YOLOv5 pada citra panoramik anak-anak dan memperoleh F1-score sebesar 0,99 untuk deteksi dan 0,98 untuk segmentasi gigi [10]. Selanjutnya, Aldanma, dkk menunjukkan bahwa YOLOv8 mampu mendeteksi berbagai kondisi dan prosedur gigi dengan akurasi 86% serta didukung pendekatan *explainable AI* [13]. Penelitian lebih lanjut oleh Hua, dkk mengembangkan YOLO-DentSeg berbasis YOLOv8n yang mencapai mAP deteksi 87% dengan kecepatan inferensi 90,3 FPS [14].

Meskipun berbagai penelitian tersebut menunjukkan peningkatan performa arsitektur YOLO, sebagian besar berfokus pada pengembangan model dan segmentasi, sementara kajian mengenai pengaruh teknik peningkatan kualitas citra terhadap performa deteksi pada citra panoramik masih terbatas. Selain itu, karakteristik anatomi gigi anak yang dinamis serta adanya kondisi gigi campuran memberikan tantangan yang berbeda dibandingkan dengan gigi orang dewasa.

Berdasarkan berbagai referensi yang ada, terdapat perbedaan fokus penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Perbedaan ini terdapat pada objek dan proses yang akan dilakukan. Penelitian ini tidak hanya mengembangkan model YOLOv8 untuk deteksi kondisi gigi anak, tetapi juga melakukan analisis komparatif terhadap tiga teknik peningkatan citra, yaitu HE, CLAHE, dan *gamma correction* sebagai prapemrosesan data. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat memberikan rekomendasi metode prapemrosesan yang paling efektif serta mengembangkan sistem deteksi berbasis *deep learning* yang lebih akurat dalam praktik klinis kedokteran gigi anak.

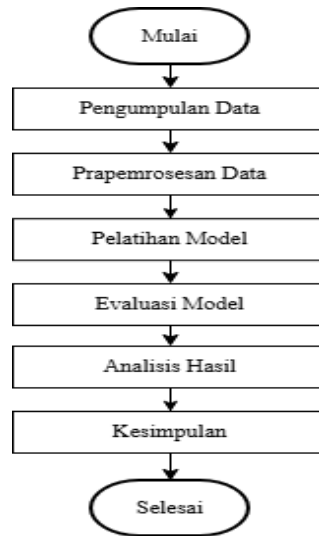
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang disajikan pada Gambar 1. Diagram tersebut menunjukkan rangkaian tahapan utama, mulai dari pengumpulan dan pengolahan data, prapemrosesan data berupa peningkatan citra dan augmentasi, implementasi deteksi objek menggunakan metode YOLOv8, serta evaluasi kinerja model berdasarkan metrik seperti *mean Average Precision (mAP)*, *precision* dan *recall*.

### 2.1. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Dataset pada penelitian ini merupakan dataset publik yang diperoleh dari *Children's Dental Panoramic Radiographs Dataset* [4]. Dataset ini berisi citra X-ray panoramik gigi anak-anak dengan berbagai kondisi patologis. Dataset berjumlah 100 citra panoramik gigi anak yang disertai file anotasi

berformat JSON berisi informasi label kondisi gigi dan area yang terinfeksi dalam bentuk *bounding box*. Contoh citra panoramik gigi anak disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 1.** Alur Penelitian



**Gambar 2.** Citra Panoramik Gigi Anak

Proses pengolahan data diawali dengan melakukan konversi anotasi JSON menjadi format TXT agar sesuai dengan format input yang dibutuhkan oleh YOLO. Masing-masing citra dapat memuat lebih dari satu jenis label atau multikelas. Adapun jenis label dan kategorinya dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Label dan Kategori Penyakit dan Kelainan Gigi

Label	Kategori	Jumlah
0	Lainnya	13
1	Infeksi periapical	33
2	Pulpitis	32
3	Sulkus dalam	28
4	Kelainan perkembangan gigi	40
5	Karies	311
Jumlah total penyakit gigi		457

Pada Tabel 1 terlihat bahwa distribusi jumlah antarkelas mengalami ketidakseimbangan, di mana kelas karies memiliki jumlah yang paling mendominasi di antara kelas lainnya. Kondisi ini sering kali mengakibatkan *overfitting*. Untuk mengatasi ketidakseimbangan jumlah antarkelas, pada penelitian ini beberapa kelas yang terdiri dari enam kategori digabungkan menjadi tiga kelas utama yang disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Label dan Kategori Penyakit dan Kelainan Gigi setelah penggabungan

Label	Kategori	Jumlah
0	Lainnya	56 + 15 = 71
1	Infeksi pulpa dan akar	52 + 11 = 63
2	Karies	253 + 61 = 314
Jumlah total penyakit gigi		457

Penggabungan dilakukan untuk mengatasi ketidakseimbangan jumlah data antarkelas sekaligus menyesuaikan karakteristik dari masing-masing penyakit. Kelas karies dipertahankan sebagai satu kategori tersendiri dikarenakan jumlah anotasi yang dominan serta memiliki ciri radiografi yang jelas. Kemudian, kelas infeksi periapikal dan pulpitis dikelompokkan menjadi satu kelas baru yang memiliki kesamaan, yaitu infeksi pulpa dan akar, di mana keduanya memiliki proses infeksi yang saling berkaitan. Sementara itu, kelas fissure dalam, kelainan perkembangan gigi, dan kelas lainnya dapat digabungkan menjadi kelas kelainan struktur gigi dan lainnya, karena ketiganya tidak termasuk infeksi dan sering berkaitan dengan variasi anatomi atau kondisi yang tidak berkaitan dengan penyakit aktif. Penggabungan data ini dilakukan untuk menjaga relevansi klinis setiap kategori serta meningkatkan kualitas pelatihan model pada tugas deteksi.

## 2.2. Prapemrosesan Data

Penelitian ini menggunakan dataset berjumlah 100 citra panoramik gigi anak dengan pembagian 80 citra digunakan sebagai data training dan 20 citra sebagai data *testing*. Pembagian ini dilakukan dengan memperhatikan rasio jumlah kelas pada data *training* dan data *testing* yang bertujuan agar setiap data mengandung representasi yang proporsional dari masing-masing kelas tertentu. Jumlah dataset yang terbatas serta distribusi kelas yang tidak seimbang menjadi tantangan tersendiri dalam proses pelatihan model. Untuk mengatasi kendala ini dan mengurangi risiko *overfitting*, penelitian ini menerapkan tahapan prapemrosesan data yang komprehensif, yaitu teknik peningkatan kualitas citra (*image enhancement*) dan augmentasi data guna memperkaya variasi fitur secara artifisial sebelum model dilatih.

Teknik peningkatan citra yang diterapkan meliputi *Histogram Equalization* (HE), *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) dan *Gamma Correction*. Pada HE dilakukan perubahan distribusi histogram citra sehingga intensitas piksel terdistribusi lebih merata dalam skala 0 hingga 255. Proses ini dilakukan membentuk fungsi distribusi kumulatif dari histogram, yang kemudian digunakan untuk melakukan transformasi nilai piksel [15]. CLAHE digunakan untuk meningkatkan kontras gambar dengan menargetkan intensitas yang signifikan dalam area terlokalisasi di sekitar setiap piksel. Teknik ini membagi gambar menjadi blok – blok kecil dan melakukan histogram equalization secara adaptif [7]. Sedangkan gamma correction dilakukan dengan cara menyesuaikan tingkat kecerahan citra berdasarkan nilai gamma tertentu. Hasil citra menjadi lebih cerah ketika nilai gamma  $< 1$ , sebaliknya, hasil citra menjadi lebih gelap jika nilai gamma  $> 1$  [8].

Setelah dilakukan teknik peningkatan citra, sebanyak dua kali menggunakan variasi transformasi *affine*, *horizontal flip* dan *elastic transform* pada citra yang memiliki kelas minoritas. Tujuannya adalah untuk menambah variasi data sehingga dapat meningkatkan kinerja pelatihan dan mengurangi *overfitting* pada model. Hasil augmentasi selanjutnya akan digunakan sebagai input data pada model deteksi menggunakan YOLO.

## 2.3. Deteksi Objek YOLOv8

Penelitian ini menggunakan model YOLOv8 untuk mendeteksi kondisi gigi pada citra panoramik gigi anak. Arsitektur YOLOv8 memiliki 3 bagian besar, yaitu *backbone*, *neck*, dan *head*. Pada tahap *backbone* sampai neck digunakan sebagai proses feature *learning* yang mempelajari ciri kondisi gigi yang selanjutnya masuk pada tahap *head* yang berguna untuk proses prediksi objek [16].

Model YOLOv8 dipilih karena memiliki kemampuan dalam deteksi objek secara cepat dengan akurasi, proses inferensi yang cepat, serta mampu meningkatkan efisiensi model. Tahapan deteksi objek meliputi pelatihan model, validasi model, dan evaluasi kinerja model. Adapun tahap pelatihan model terdiri dari penyesuaian ukuran citra ke resolusi standar YOLO (640x640 piksel), serta penentuan *hyperparameter* pelatihan seperti epochs, batch size, learning rate dan augmentasi YOLO.

Selama pelatihan berlangsung, validasi model digunakan untuk memantau *loss function* dan mencegah terjadinya *overfitting*. Evaluasi kinerja diperoleh berdasarkan metrik performa seperti *precision*, *recall*, dan mAP untuk memberikan gambaran komprehensif tentang performa model.

## 2.4. Parameter Pelatihan Model

Proses pelatihan model untuk deteksi kondisi gigi dilakukan menggunakan arsitektur YOLOv8m, yaitu model YOLOv8 yang menawarkan keseimbangan antara akurasi dan kecepatan. Model ini dilatih menggunakan konfigurasi parameter yang telah disesuaikan agar performa yang dihasilkan lebih optimal. Nilai *hyperparameter* yang digunakan pada proses pelatihan model YOLOv8 ini ditentukan melalui serangkaian eksperimen untuk memastikan stabilitas konvergensi dan mencegah terjadinya *overfitting*.

Proses pelatihan ini dijalankan selama 150 epoch dengan batch size 8 serta resolusi citra standar yang digunakan yaitu 640 x 640 piksel. Parameter optimasi yang digunakan antara lain *initial learning rate* (0.0005), *learning rate factor* (lrf) (0.01), momentum (0.937), *weight decay* (0.0005). Selain parameter optimasi, teknik augmentasi juga diterapkan untuk meningkatkan variasi data serta mengurangi risiko *overfitting*. Adapun teknik augmentasi pada YOLOv8 yang digunakan antara lain: *hsv\_h* (0.015), *hsv\_s*

(0.7), *hsv\_v* (0.4), *degrees* (10.0), *translate* (0.1), *scale* (0.5), *shear* (0.0), *perspective* (0.0), *flipud* (0.5), *fliplr* (0.5), *mosaic* (0.7), *mixup* (0.7), *copy paste* (0.0).

## 2.5. Evaluasi

Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan metrik *Mean Average Precision* (mAP) untuk mengukur kinerja sistem pada kasus deteksi objek. Hasil sistem deteksi yang baik akan memiliki nilai mAP yang tinggi sehingga menandakan model semakin akurat. Perhitungan mAP dilakukan melalui rata-rata nilai *Average Precision* (AP) pada setiap kelas objek (N), dan persamaan untuk menghitung nilai mAP dapat dilihat pada Persamaan 4. Sedangkan perhitungan AP merupakan gabungan dari nilai recall dan presisi. Persamaan perhitungan AP dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$Precision = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (2)$$

$$AP = \sum_{k=0}^{k=n-1} (Recall_k - Recall_{k+1}) * Precision(k) \quad (3)$$

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{k=N} AP_k \quad (4)$$

*Precision* digunakan untuk mengukur seberapa akurat model dalam melakukan klasifikasi data sebagai positif. Semakin tinggi nilai presisi yang didapatkan, semakin kecil model menghasilkan nilai prediksi positif yang keliru. *Recall* atau sensitivitas menunjukkan kemampuan model dalam mengidentifikasi semua kasus positif.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi hasil percobaan model YOLOv8 dalam mendeteksi kondisi gigi pada citra panoramik, serta pembahasan terkait faktor yang memengaruhi performa model. Untuk mengetahui sejauh mana performa deteksi pada citra panoramik gigi dapat meningkat, dilakukan pengujian menggunakan tiga skenario berbeda dengan menggunakan teknik peningkatan citra, yaitu HE, CLAHE, dan *gamma correction*.

### 3.1. Pengumpulan Data

Hasil pengumpulan data diketahui bahwa distribusi kelas pada dataset mengalami ketidakseimbangan data, di mana kelas “Lainnya” dan “Infeksi pulpa dan akar” memiliki jumlah data yang lebih sedikit dibandingkan dengan kelas “Karies”. Untuk mengatasi ketidakseimbangan data, pada tahap prapemrosesan data diterapkan teknik peningkatan citra dan augmentasi pada citra yang memiliki kelas minoritas. Teknik peningkatan citra yang diterapkan antara lain *Histogram Equalization*, CLAHE dan *Gamma Correction*. Teknik ini bertujuan memperbaiki tingkat kontras, distribusi pencahayaan serta ketajaman struktur gigi agar model memiliki peluang lebih tinggi untuk mengenali pola konisi gigi secara akurat.

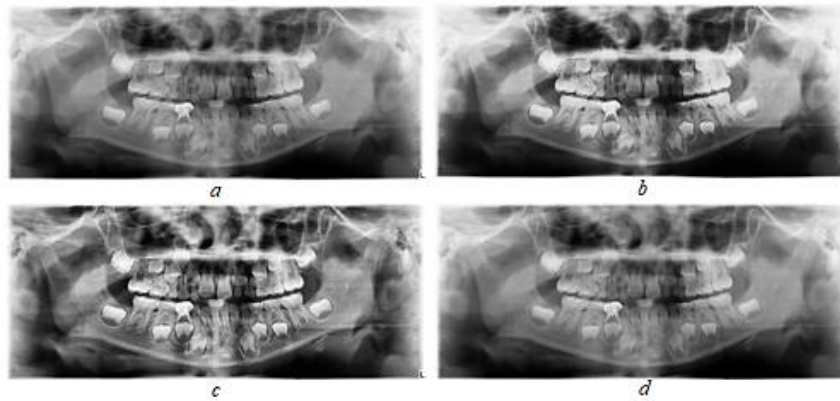
Pada Gambar 3 disajikan citra panoramik gigi anak yang telah dilakukan teknik peningkatan citra menggunakan HE, CLAHE dan *gamma correction*. Pada citra HE (gambar 3b) terlihat bahwa citra memiliki tingkat pencahayaan yang berlebihan dan terjadi peningkatan *noise* pada area tertentu yang mengakibatkan detail struktur gigi lebih sulit untuk dideteksi. Hal ini dikarenakan HE bekerja dengan cara meningkatkan kontras secara global. Pada citra CLAHE (gambar 3c), peningkatan kontras dilakukan secara lokal. Adanya *clip limit* membantu mencegah terjadinya peningkatan *noise* berlebih pada citra. Sehingga struktur gigi pada citra terlihat lebih detail dan jelas, serta peningkatan kontras lebih stabil. Sementara itu, *gamma correction* (gambar 3d) mampu menyesuaikan tingkat citra secara *nonlinier*, sehingga struktur gigi yang memiliki area gelap menjadi lebih terlihat. Meskipun pendekatan *gamma correction* dapat menurunkan kualitas fitur yang diperlukan.

### 3.2. Hasil Pelatihan Model YOLOv8 menggunakan Teknik Peningkatan Citra

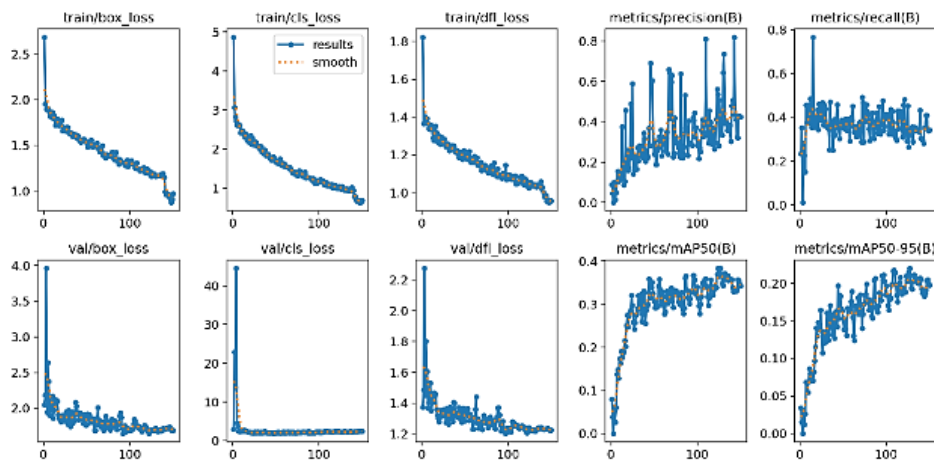
Pada tahapan ini dilakukan proses pelatihan model YOLO menggunakan tiga teknik peningkatan citra, yaitu HE, CLAHE, dan *Gamma Correction*. Proses pelatihan ini dilakukan hingga model mencapai konvergensi.

Teknik *Histogram Equalization* (HE) meningkatkan kontras secara merata pada seluruh citra. Berdasarkan hasil pelatihan pada YOLOv8, penerapan HE memberikan kontribusi yang kurang optimal. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4 yang menggambarkan bahwa train loss menunjukkan penurunan yang stabil, sedangkan precision, recall, mAP50, dan mAP50-95 terlihat fluktuatif meskipun tidak mencapai nilai yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa HE mengakibatkan kontras meningkat secara berlebihan pada area yang

memiliki intensitas tinggi dan *noise*. Sehingga performa model yang dihasilkan kurang signifikan dan konsisten.

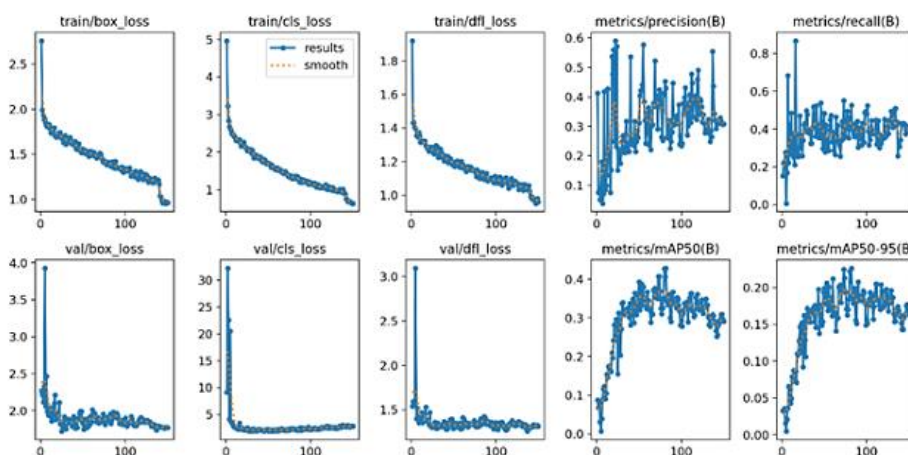


**Gambar 3.** Citra panoramik gigi anak setelah dilakukan teknik peningkatan citra.  
a) Citra asli, b) HE, c) CLAHE, d) Gamma Correction

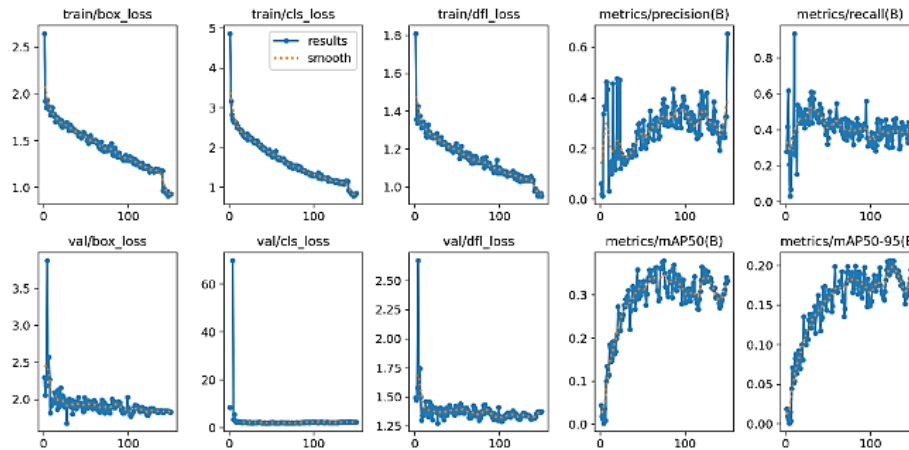


**Gambar 4.** Hasil performa YOLOv8 setelah data training dilakukan HE

Berbeda dengan HE, CLAHE bekerja secara lokal sehingga mampu membatasi kontras agar tidak berlebihan. CLAHE mampu meningkatkan kualitas citra panoramik sehingga fitur-fitur penting pada gigi menjadi lebih jelas. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5 yang menggambarkan bahwa *train* dan *validation loss* mengalami penurunan yang stabil, serta nilai *metrics precision*, *recall* dan *mAP* yang mengalami peningkatan yang lebih tinggi dibanding HE. CLAHE menghasilkan performa deteksi yang lebih baik dibandingkan HE, serta membantu model dalam membedakan pola intensitas dan tepi objek.



**Gambar 5.** Hasil performa YOLOv8 setelah data training dilakukan CLAHE



**Gambar 6.** Hasil performa YOLOv8 setelah data training dilakukan gamma correction

*Gamma correction* menghasilkan perubahan intensitas yang lebih halus dengan menyesuaikan intensitas secara *nonlinier*. Dari hasil pelatihan YOLOv8 pada Gambar 6, *gamma correction* menunjukkan performa yang lebih baik daripada HE, walaupun hasil CLAHE sedikit lebih baik dibandingkan dengan *gamma correction*. mAP50 dan mAP50-95 menunjukkan pola yang lebih stabil dibandingkan HE, walaupun terdapat beberapa epoch yang mengalami fluktuasi. Pola ini menunjukkan bahwa *gamma correction* mampu membantu model dalam meningkatkan detail kontras pada citra panoramik yang memiliki area gelap, meskipun hasil yang diberikan tidak setajam CLAHE.

Secara keseluruhan, CLAHE memberikan performa yang terbaik dengan nilai mAP tertinggi dan metrik yang stabil. Selain itu, CLAHE lebih efektif dalam mengatasi berbagai variasi kontras pada citra panoramik gigi tanpa memperburuk *noise*. *Gamma correction* memberikan performa yang lebih baik dibandingkan HE, namun tidak konsisten seperti CLAHE. Sedangkan HE menunjukkan performa paling rendah karena HE memiliki kecenderungan untuk meningkatkan *noise*.

### 3.3. Evaluasi Kinerja Model YOLOv8

Proses evaluasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh teknik peningkatan citra terhadap performa deteksi objek pada citra panoramik gigi anak. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi *precision*, *recall*, mAP@50 dan mAP@50-95. Hasil perbandingan performa antar teknik peningkatan citra disajikan pada Tabel 3.

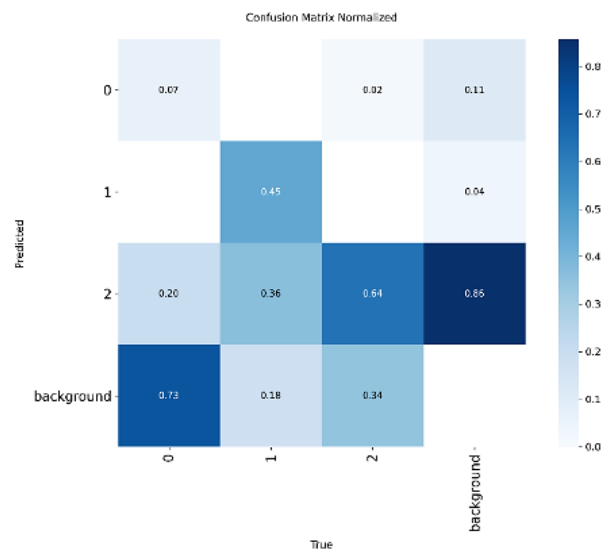
**Tabel 3.** Perbandingan Hasil Evaluasi Kinerja Model

Teknik Peningkatan Citra	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	mAP50	mAP50-95
HE	0,386	0,321	0,384	0,22
CLAHE	0,43	0,525	0,429	0,227
<i>Gamma Correction</i>	0,345	0,413	0,358	0,207

Berdasarkan Tabel 3, CLAHE menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan HE dan *gamma correction*. Nilai mAP@50 yang diperoleh dari CLAHE lebih tinggi daripada HE dan *gamma correction*, yaitu sebesar 0,429. Hal ini menunjukkan bahwa CLAHE mampu meningkatkan kualitas citra panoramik sehingga fitur-fitur penting pada gigi seperti area karies, infeksi pulpa dan akar serta kelas lainnya menjadi lebih jelas dan mudah dikenali oleh model. Nilai *precision* yang lebih tinggi pada CLAHE menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesalahan prediksi positif yang lebih rendah. Artinya, sebagian besar objek yang terdeteksi benar-benar sesuai dengan kelas sebenarnya. Selain itu, nilai *recall* yang lebih tinggi menunjukkan model mampu mengenali lebih banyak objek yang terdeteksi dibandingkan dengan teknik peningkatan citra lainnya.

Sedangkan, HE kurang efektif dalam mempertahankan detail lokal pada struktur gigi, meskipun HE mampu meningkatkan kontras secara global. Hal ini mengakibatkan nilai mAP yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan CLAHE. Sementara *gamma correction* mampu memperbaiki pencahayaan citra, belum optimal dalam meningkatkan pemisahan fitur antarkelas secara signifikan. Berdasarkan nilai mAP@50-95, CLAHE tetap menunjukkan performa terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi objek pada berbagai tingkat ambang batas tertentu, tetapi juga konsisten pada berbagai tingkat *Intersection Over Union* (IoU). Dapat diketahui bahwa penerapan CLAHE memberikan kontribusi paling banyak dalam meningkatkan performa deteksi objek pada citra radiografi panoramik gigi anak dibandingkan dengan teknik pencitraan HE dan *gamma correction*.

### 3.4. Analisis Hasil Performa Model Terbaik



**Gambar 7.** Confusion Matrix pada Model Terbaik

Gambar 7 merupakan hasil evaluasi model menggunakan *confusion matrix*, diketahui performa model masih belum optimal dalam mendeteksi objek. Model masih mengalami kesulitan dalam membedakan objek dari *background*. Hal ini terlihat dari besarnya proporsi prediksi *background* pada keseluruhan kelas. Pada kelas 0, 73% objek kelas diprediksi sebagai *background*, di mana model hampir tidak mengenali seluruh objek pada kelas 0.

Pada kelas 1, sebanyak 45% objek mampu dikenali dengan benar, sementara yang lainnya diprediksi sebagai kelas lain atau *background*. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun model memiliki sedikit kemampuan untuk mengenali kelas 1, masih memiliki tingkat kesalahan yang cukup tinggi. Sementara pada kelas 2, sebanyak 64% objek berhasil dikenali dengan benar. Namun, terdapat 34% objek yang salah prediksi menjadi kelas *background*, dan model cenderung mengarahkan prediksi ke kelas 2 pada kondisi ambigu. Hal ini terlihat dari besarnya proporsi prediksi kelas 2 untuk keseluruhan kelas.

Secara keseluruhan, model menunjukkan *over-classification* terhadap *background* dan kelas 2 yang menunjukkan bahwa nilai akurasi model dipengaruhi oleh sensitivitas yang rendah terhadap objek sebenarnya, terutama objek kecil yang memiliki kontras rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh kurangnya variasi data, ketidakseimbangan jumlah antar kelas, serta parameter inferensi yang berlebihan sehingga objek dengan *confidence* rendah dianggap sebagai *background* oleh model. Hasil deteksi kondisi gigi anak serta nilai akurasi ditunjukkan pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Gambar Hasil Deteksi Kondisi Gigi Anak

### 3.5. Pembahasan

Pada penelitian ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa performa model YOLOv8 dalam mendeteksi penyakit gigi anak pada citra panoramik masih belum optimal, meskipun telah dilakukan prapemrosesan dan augmentasi data. Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi hasil penelitian, di antaranya ketidakseimbangan jumlah data antarkelas, kualitas citra yang cukup bervariasi, serta kompleksitas anatomi gigi anak yang berbeda dengan orang dewasa. Pada fase pertumbuhan, struktur gigi anak mengalami perubahan yang dinamis, seperti keberadaan gigi campuran (susu dan permanen). Kondisi ini mengakibatkan perbedaan morfologi yang berbeda antar individu, sehingga model memerlukan kemampuan yang lebih baik dalam mengenali pola yang beragam tersebut.

Ketidakeimbangan jumlah data antara kelas cenderung lebih mudah mendeteksi kelas mayoritas, dikarenakan perhatian selama pelatihan lebih banyak dibandingkan dengan kelas minoritas yang sering terabaikan. Hal ini ditunjukkan oleh perbedaan nilai *precision* dan *recall* antar kelas. Sehingga diperlukan strategi penanganan data *imbalance* seperti penambahan kelas minoritas, teknik *oversampling*, atau penerapan metode *loss function* yang lebih adaptif untuk meningkatkan sensitivitas model terhadap kelas dengan jumlah terbatas.

Selain itu, kualitas anotasi juga memiliki peran penting dalam penentuan performa model deteksi objek. Penentuan *bounding box* yang kurang konsisten juga dapat memengaruhi proses pembelajaran model. Meskipun metode prapemrosesan seperti HE, CLAHE, dan gamma correction telah diterapkan, peningkatan performa yang dihasilkan belum signifikan secara keseluruhan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kontras saja belum cukup untuk mengatasi kompleksitas karakteristik citra radiografi panoramik gigi anak.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menjelaskan bahwa deteksi kondisi gigi anak pada citra radiografi panoramik masih memiliki tantangan yang cukup besar. Oleh karena itu, penelitian mendatang perlu difokuskan pada peningkatan jumlah serta keseimbangan distribusi dataset, serta optimasi model agar performa deteksi menjadi lebih akurat, stabil, dan relevan untuk bidang radiologi kedokteran gigi anak.

#### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan penerapan tiga teknik peningkatan citra, yaitu *Histogram Equalization* (HE), *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), dan *gamma correction* dengan model deteksi YOLOv8 dalam mendeteksi kondisi gigi anak pada citra radiografi panoramik. Hasil analisis menunjukkan bahwa CLAHE memberikan peningkatan performa yang paling konsisten berdasarkan nilai *precision*, *recall*, serta mAP@50 dan mAP@50–95 dibandingkan HE dan gamma correction. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa tujuan utama penelitian untuk mengoptimasi deteksi citra panoramik gigi anak menggunakan YOLOv8 telah terpenuhi dengan baik.

Meskipun demikian, performa model secara keseluruhan masih belum optimal. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain keterbatasan jumlah dataset, kualitas dataset yang belum seragam, variasi kualitas citra yang cukup tinggi, ketidakeimbangan jumlah data antar kelas, serta kompleksitas anatomi gigi anak yang bersifat unik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk berfokus pada peningkatan kualitas dan kuantitas dataset, penyeimbangan distribusi kelas, serta eksplorasi strategi optimasi model deteksi guna memperoleh hasil yang lebih optimal.

#### REFERENSI

- [1] A. H. Abdi, S. Kasaei, and M. Mehdizadeh, "Automatic segmentation of mandible in panoramic x-ray," *Journal of Medical Imaging*, vol. 2, no. 4, p. 044003, Nov. 2015, doi: 10.1117/1.jmi.2.4.044003.
- [2] R. Izzetti, M. Nisi, G. Aringhieri, L. Crocetti, F. Graziani, and C. Nardi, "Basic knowledge and new advances in panoramic radiography imaging techniques: A narrative review on what dentists and radiologists should know," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 17, Sep. 2021, doi: 10.3390/app11177858.
- [3] M. O. Ovi *et al.*, "Enhanced Pediatric Dental Segmentation Using a Custom SegUNet with VGG19 Backbone on Panoramic Radiographs," Mar. 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2503.06321>
- [4] Y. Zhang *et al.*, "Children's dental panoramic radiographs dataset for caries segmentation and dental disease detection," *Sci Data*, vol. 10, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1038/s41597-023-02237-5.
- [5] 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.
- [6] G. Siracusano, A. La Corte, M. Gaeta, G. Cicero, M. Chiappini, and G. Finocchio, "Pipeline for advanced contrast enhancement (Pace) of chest x-ray in evaluating covid-19 patients by combining bidimensional empirical mode decomposition and contrast limited adaptive histogram equalization (clahe)," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, no. 20, pp. 1–18, Oct. 2020, doi: 10.3390/su12208573.
- [7] R. B. Rahman, S. A. Tanim, N. Alfaz, T. E. Shrestha, M. S. U. Miah, and M. F. Mridha, "A comprehensive dental dataset of six classes for deep learning based object detection study," *Data Brief*, 2024, doi: 10.1016/j.dib.2024.110970.
- [8] H. Tsaniya, C. Fatichah, and N. Suciati, "Automatic Radiology Report Generator Using Transformer With Contrast-Based Image Enhancement," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 25429–25442, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3364373.
- [9] A. Juyal, H. Tiwari, U. K. Singh, N. Kumar, and S. Kumar, "Dental Caries Detection Using Faster R-CNN and YOLO V3," *ITM Web of Conferences*, vol. 53, p. 02005, 2023, doi: 10.1051/itmconf/20235302005.

- 
- [10] B. Beser *et al.*, “YOLO-V5 based deep learning approach for tooth detection and segmentation on pediatric panoramic radiographs in mixed dentition,” *BMC Med Imaging*, vol. 24, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s12880-024-01338-w.
- [11] U. Sevik and O. Mutlu, “Detection of Dental Anomalies in Digital Panoramic Images Using YOLO: A Next Generation Approach Based on Single Stage Detection Models.” [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=5181597>
- [12] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” 2016. [Online]. Available: <http://pjreddie.com/yolo/>
- [13] E. N. Olam, A. R. Himamunanto, and H. Budiati, “Analisis Komparasi Performa Metode Deteksi Tepi Sebagai Predektor Diabetes Berbasis Citra Lidah,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 4, pp. 1218–1223, Jul. 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i4.1393.
- [14] Ö. Aldanma, H. B. Atardağ, E. Y. Özdemir, and F. Özyurt, “AI-Driven Dental Radiography Analysis: Enhancing Diagnosis and Education Through YOLOv8 and Eigen-CAM,” *Traitement du Signal*, vol. 41, no. 6, pp. 2875–2882, Dec. 2024, doi: 10.18280/ts.410608.
- [15] 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.
- [16] J. C. Mello Román *et al.*, “Panoramic dental radiography image enhancement using multiscale mathematical morphology,” *Sensors*, vol. 21, no. 9, 2021, doi: 10.3390/s21093110.
- [17] M. Yaseen, “What is YOLOv8: An In-Depth Exploration of the Internal Features of the Next-Generation Object Detector,” Aug. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2408.15857>