

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* (CNN)

Oleh:

Al Ikhwan Resqy Fauzan Alqob¹

Fawaidul Badri²

Oktriza Melfazen³

Universitas Islam Malang

Alamat: JL. Mayjen Haryono No.193, Dinoyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur (65144).

Korespondensi Penulis: elresqy@gmail.com, fawaidulbadri@unisma.ac.id,
oktriza.melfazen@unisma.ac.id.

Abstract. *The advancement of Deep Learning technology has created significant opportunities in medical image processing, particularly for the automatic detection of dental caries. This study proposes a dental image classification model by combining Local Binary Pattern (LBP) and Convolutional Neural Network (CNN) methods. The dataset was collected from Kaggle and Mendeley Data, consisting of 2,640 images categorized into caries and non-caries classes. The research stages included image preprocessing, texture feature extraction using uniform LBP with parameters $P = 8$ and $R = 1$, and CNN training using the Adam optimizer with a learning rate of $1e-4$ for 30 epochs. The trained model was then integrated into a Flask-based web application, allowing users to upload dental images and obtain real-time classification results along with confidence and probability values. Experimental results indicate that the proposed classification model achieved an accuracy of 88%, with confidence values ranging from 79.39% to 95.00% for the caries class and 82.62% to 97.53% for the non-caries class. The developed web-based system demonstrates effectiveness in supporting early detection of dental caries in a fast, interactive, and accurate manner.*

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Keywords: *Image Classification, Local Binary Pattern, Convolutional Neural Network, Dental Caries.*

Abstrak. Perkembangan teknologi *Deep Learning* memberikan peluang besar dalam pengolahan citra medis, khususnya untuk mendukung proses deteksi otomatis karies gigi. Penelitian ini mengembangkan model klasifikasi citra gigi dengan menggabungkan metode *Local Binary Pattern* (LBP) dan *Convolutional Neural Network* (CNN). Dataset yang digunakan diperoleh dari Kaggle dan Mendeley Data dengan total 2.640 citra, yang terdiri atas dua kelas, yaitu karies dan non-karies. Tahapan penelitian meliputi pra-pemrosesan citra, ekstraksi fitur tekstur menggunakan LBP uniform dengan parameter $P = 8$ dan $R = 1$, serta pelatihan model CNN menggunakan optimizer Adam dengan *learning rate* sebesar $1e-4$ selama 30 epoch. Model yang telah dilatih kemudian diimplementasikan ke dalam aplikasi web berbasis Flask, sehingga pengguna dapat mengunggah citra gigi dan memperoleh hasil klasifikasi secara langsung beserta nilai *confidence* dan probabilitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model klasifikasi yang dikembangkan mampu mencapai akurasi sebesar 88%, dengan nilai *confidence* berkisar antara 79,39%–95,00% untuk kelas karies dan 82,62%–97,53% untuk kelas non-karies. Sistem berbasis web ini dinilai efektif untuk mendukung proses deteksi dini karies gigi secara cepat, interaktif, dan akurat.

Kata Kunci: Klasifikasi Citra, Pola Biner Lokal, Jaringan Saraf Konvolusional, Karies Gigi.

LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi Deep Learning memberikan kontribusi signifikan dalam bidang pengolahan citra medis, khususnya untuk mendukung proses diagnosis otomatis berbagai penyakit. Salah satu arsitektur Deep Learning yang banyak digunakan dalam pengenalan pola citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). Arsitektur ini dirancang untuk meniru mekanisme kerja sistem visual manusia dalam mengenali pola

dan bentuk visual, sehingga mampu melakukan ekstraksi fitur serta klasifikasi citra secara efektif [1].

Permasalahan kesehatan gigi, terutama karies gigi, masih menjadi isu yang sering kurang mendapat perhatian meskipun berdampak besar terhadap kualitas hidup. Karies gigi merupakan kerusakan pada jaringan keras gigi yang disebabkan oleh aktivitas bakteri serta kebiasaan konsumsi makanan tertentu. Proses diagnosis karies gigi yang dilakukan secara manual memerlukan ketelitian tinggi dari tenaga medis dan berpotensi menimbulkan kesalahan subjektif. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem berbasis kecerdasan buatan yang mampu membantu proses deteksi dini karies gigi secara cepat dan akurat [2].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperkuat analisis citra gigi adalah Local Binary Pattern (LBP). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Timo Ojala sebagai teknik analisis tekstur dengan membandingkan nilai intensitas piksel pusat terhadap piksel di sekitarnya. LBP memiliki keunggulan dalam merepresentasikan pola tekstur lokal serta relatif tahan terhadap perubahan pencahayaan, sehingga efektif digunakan dalam pengolahan citra [3]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggabungan LBP dengan CNN mampu meningkatkan kinerja klasifikasi citra karena fitur tekstur diperkuat sebelum diproses oleh jaringan CNN [4].

Berdasarkan kajian terhadap penelitian sebelumnya, CNN telah banyak diterapkan dalam klasifikasi citra medis, termasuk pada bidang kesehatan gigi dan rongga mulut. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian model tanpa disertai implementasi sistem yang mudah diakses oleh pengguna akhir. Selain itu, pemanfaatan metode LBP sebagai tahap pra-pemrosesan dalam sistem deteksi karies gigi berbasis web masih relatif terbatas. Kondisi ini menunjukkan adanya peluang penelitian untuk mengembangkan sistem klasifikasi citra gigi yang tidak hanya memiliki akurasi tinggi, tetapi juga dapat digunakan secara praktis melalui platform berbasis web.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun model klasifikasi karies gigi berbasis citra dengan mengombinasikan metode Local Binary Pattern (LBP) dan *Convolutional Neural Network* (CNN), serta mengimplementasikannya dalam aplikasi web menggunakan framework Flask. Sistem yang dikembangkan memungkinkan pengguna untuk mengunggah citra gigi dan memperoleh hasil klasifikasi secara langsung beserta nilai confidence dan probabilitas.

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem deteksi dini karies gigi yang cepat, interaktif, dan akurat, serta mendukung pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan di bidang kedokteran gigi.

KAJIAN TEORITIS

Deep Learning

Deep Learning merupakan salah satu pendekatan dalam bidang machine learning yang menggunakan jaringan saraf tiruan dengan banyak lapisan tersembunyi. Pendekatan ini memungkinkan model untuk mempelajari representasi fitur secara bertingkat, mulai dari fitur sederhana hingga fitur yang lebih kompleks. Dalam berbagai penelitian, metode deep learning terbukti memiliki performa yang lebih baik dibandingkan metode machine learning konvensional, khususnya pada permasalahan yang melibatkan data berdimensi tinggi seperti citra, suara, dan teks [5]. Keunggulan utama deep learning terletak pada kemampuannya dalam melakukan ekstraksi fitur secara otomatis tanpa memerlukan rekayasa fitur manual yang kompleks. Dengan struktur jaringan yang berlapis, model deep learning mampu menangkap pola dan hubungan nonlinier dalam data secara lebih efektif. Deep Learning juga dikenal sebagai pengembangan lanjutan dari machine learning yang memiliki kompleksitas matematis lebih tinggi dan dirancang untuk menangani permasalahan berskala besar [6].

Binary Pattern

Local Binary Pattern (LBP) merupakan metode analisis tekstur yang diperkenalkan oleh Timo Ojala dan David Harwood pada tahun 1992. Metode ini bekerja dengan membandingkan nilai intensitas piksel pusat dengan nilai intensitas piksel-piksel tetangganya. Hasil perbandingan tersebut menghasilkan pola biner yang kemudian dikonversi menjadi nilai desimal, yang selanjutnya digunakan sebagai representasi tekstur lokal suatu citra [7]. Nilai-nilai LBP yang dihasilkan dari seluruh piksel pada citra kemudian disusun dalam bentuk histogram untuk menggambarkan karakteristik tekstur secara keseluruhan. LBP memiliki keunggulan dalam membedakan pola tekstur serta

relatif stabil terhadap variasi pencahayaan. Oleh karena itu, metode ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi klasifikasi citra berbasis tekstur [8].

Convolutional Neural Network

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan salah satu arsitektur jaringan saraf tiruan yang paling umum digunakan dalam pengolahan citra digital. CNN dirancang untuk memproses data visual dengan memanfaatkan struktur spasial citra, sehingga sangat efektif dalam mengenali pola visual seperti bentuk, tepi, dan tekstur. Secara umum, CNN tersusun atas lapisan input, lapisan tersembunyi, dan lapisan output, di mana lapisan tersembunyi terdiri dari kombinasi lapisan konvolusi, lapisan aktivasi, lapisan pooling, dan lapisan fully connected [9]. *Convolutional Neural Network* (CNN) sangat efektif dalam menganalisis data visual seperti gambar dan video. CNN terdiri atas beberapa lapisan, yaitu lapisan konvolusi, lapisan aktivasi, dan lapisan pooling, yang disusun untuk membentuk struktur hierarkis [10]. Semua lapisan ini disusun secara berurutan, di mana setiap lapisan berfungsi untuk memperkaya pemrosesan informasi dan menghasilkan output yang lebih akurat [11].

CNN merupakan tipe dari model deep learning untuk pemrosesan data citra yang mempunyai pola grid dan dirancang secara otomatis dan adaptif untuk mempelajari hirarki fitur spasial dari level terendah hingga tertinggi suatu pola [12]. Layer konvolusi digunakan untuk mengekstraksi fitur-fitur penting dari citra input. Pada setiap layer konvolusi, terdapat filter yang digeser melintasi citra untuk melakukan operasi konvolusi. Operasi ini mengalikan bobot dalam filter dengan piksel yang diamati dan kemudian menjumlahkannya [13]. penerapan CNN semakin meluas pada berbagai sektor industri, khususnya dalam mendukung sistem penilaian kualitas secara otomatis [14].

Flask

Flask merupakan microframework berbasis Python yang banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi web, termasuk pada implementasi sistem berbasis machine learning dan deep learning. Flask dirancang dengan konsep sederhana dan fleksibel, sehingga memudahkan pengembang dalam membangun aplikasi web tanpa kompleksitas yang berlebihan. Framework ini memungkinkan integrasi model pembelajaran mesin ke dalam antarmuka web yang interaktif dan mudah diakses oleh pengguna [15]. Dalam

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

penerapan sistem klasifikasi citra, Flask berperan sebagai penghubung antara model yang telah dilatih dengan antarmuka pengguna. Melalui Flask, pengguna dapat mengunggah data citra, kemudian sistem akan memproses data tersebut menggunakan model yang tersedia dan menampilkan hasil prediksi secara langsung. Karakteristik Flask yang ringan menjadikannya cocok untuk pengembangan aplikasi berbasis prototipe maupun sistem pendukung keputusan berbasis web [16].

METODE PENELITIAN

Dalam sebuah penelitian dibutuhkan suatu metode agar menjadikan penelitian yang tertata mulai dari awal hingga akhir. Agar tujuan tersebut tercapai maka pada penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja model klasifikasi karies gigi berbasis *Local Binary Pattern* (LBP) dengan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN).

Pengumpulan Dataset

Pengumpulan dataset berperan penting dalam mendukung pembelajaran model. Dataset berupa citra gigi dikumpulkan dari sumber dataset publik yaitu dari Kaggle dan Mendeley Data. Data tersebut kemudian dipilah, dilabeli sesuai kategori Karies dan Non-Karies, Tahap ini memastikan bahwa data yang digunakan dalam penelitian ini sudah terstandarisasi. Data yang terkumpul terdiri dari 1320 gambar Karies dan 1320 gambar Non-Karies dengan total 2640 dataset.

Pra-pemrosesan Data

Tahap Pra-pemrosesan Data dilakukan untuk mempersiapkan citra sebelum proses klasifikasi. Citra awal dikonversi ke grayscale agar memiliki satu kanal intensitas, kemudian dilakukan ekstraksi fitur menggunakan metode *Local Binary Pattern* (LBP) uniform dengan parameter $P=8$ dan $R=1$. Setiap piksel pusat dibandingkan dengan piksel tetangganya untuk membentuk pola biner yang dikonversi menjadi nilai desimal sebagai representasi tekstur lokal. Hasil citra LBP kemudian di-*resize* menjadi ukuran seragam 224×224 piksel dan dinormalisasi dengan membagi nilai piksel 0–255 menjadi rentang 0–1 guna menstabilkan proses pelatihan model CNN.

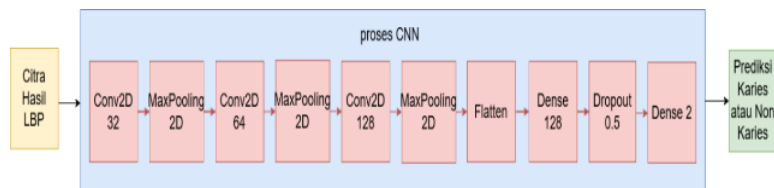
Gambar 1. Proses LBP



Proses *Convolutional Neural Network* (CNN)

Setelah melalui tahap *preprocessing*, citra hasil *Local Binary Pattern* (LBP) digunakan sebagai input ke model *Convolutional Neural Network* (CNN). Arsitektur CNN terdiri dari tiga lapisan *Conv2D* dengan jumlah filter 32, 64, dan 128 yang masing-masing diikuti oleh *MaxPooling* berukuran 2×2 untuk mereduksi dimensi fitur. Hasil ekstraksi kemudian diratakan melalui lapisan *Flatten* menjadi vektor 1D sebelum diproses oleh lapisan *Fully Connected* dengan dua neuron yang mewakili kelas karies dan non-karies. Lapisan akhir menggunakan fungsi aktivasi *Softmax* untuk menghasilkan nilai probabilitas pada masing-masing kelas.

Gambar 2. Proses CNN



Pelatihan Model

Proses pelatihan dilakukan menggunakan optimizer Adam dengan *learning rate* $1e-4$. Adam dipilih karena mampu berjalan cepat dengan stabil. Pelatihan dilakukan selama 30 epoch, yang dianggap cukup untuk mencapai akurasi optimal tanpa menyebabkan *overfitting*.

Implementasi UI (Flask)

Tahapan berikutnya adalah Implementasi UI menggunakan Flask. Model CNN yang telah dilatih diintegrasikan ke dalam antarmuka berbasis web agar lebih mudah digunakan. Dengan Flask, pengguna dapat mengunggah citra gigi, kemudian sistem secara otomatis memproses gambar tersebut dan memberikan hasil klasifikasi. Implementasi ini menjadikan penelitian tidak hanya berhenti pada pengujian model,

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

tetapi juga menghasilkan aplikasi nyata yang bisa dipakai. Pada tahap ini juga data uji di latih dengan keluaran berupa Confidence dan Probability Softmax.

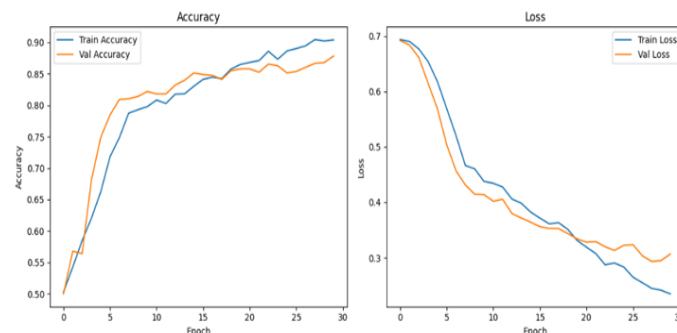
Pengujian UI

Website yang telah dirancang sebelumnya diuji untuk memastikan seluruh fungsionalitas dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Proses pengujian dilakukan dengan metode pengujian manual yaitu mencoba menginput citra yang sudah di labeli sebelumnya, kemudian melihat hasil masing” citra apakah sesuai hasil dari sistem dengan label aslinya dan mendapat confidence dengan probabilitas softmax.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kinerja model selama proses pelatihan dapat di lihat pada Gambar 3.. yang menampilkan grafik *training accuracy*, *validation accuracy*, *training loss*, dan *validation loss* pada setiap epoch. Grafik ini digunakan untuk mengevaluasi perkembangan performa model dari awal hingga akhir proses pelatihan, serta untuk mendeteksi adanya indikasi overfitting atau underfitting.

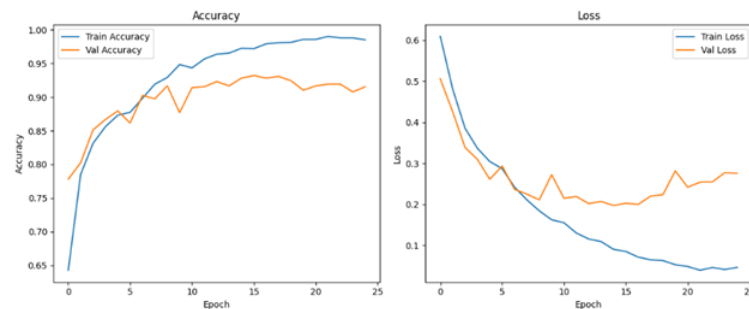
Gambar 3. Akurasi dan Loss dengan LBP



Gambar 3. menunjukkan kurva akurasi dan loss selama pelatihan model selama 30 epoch. Nilai *training accuracy* meningkat dari sekitar 0,51 hingga 0,90, sedangkan *validation accuracy* mencapai kisaran 0,88 (88%) dan stabil setelah epoch ke-10. Hal ini menunjukkan bahwa model mampu belajar dengan baik serta mempertahankan performa yang stabil tanpa mengalami overfitting. Pada grafik loss, baik training loss maupun validation loss menurun secara konsisten dari sekitar 0,7 menjadi di bawah 0,3, dengan

pola penurunan yang serupa pada keduanya. Secara keseluruhan, model klasifikasi karies gigi berbasis LBP dan CNN berhasil mencapai akurasi 88%, menunjukkan keseimbangan antara akurasi tinggi dan loss rendah, serta memiliki kemampuan generalisasi yang baik pada pengujian dan unggul dalam segi stabilitas dan konsistensi.

Gambar 4. Akurasi Dan Loss tanpa LBP



Berdasarkan grafik akurasi dan loss pada Gambar 4.2, terlihat bahwa nilai *training accuracy* meningkat dari sekitar 0,65 hingga mencapai 0,98 pada epoch ke-25. Nilai *validation accuracy* juga naik hingga sekitar 0,92, menunjukkan bahwa model mampu mempelajari fitur citra dengan baik tanpa mengalami *overfitting* yang signifikan. Pada grafik loss, *training loss* menurun dari 0,60 menjadi di bawah 0,05, sedangkan *validation loss* turun dari 0,50 menjadi sekitar 0,27 dengan sedikit fluktuasi di akhir pelatihan.

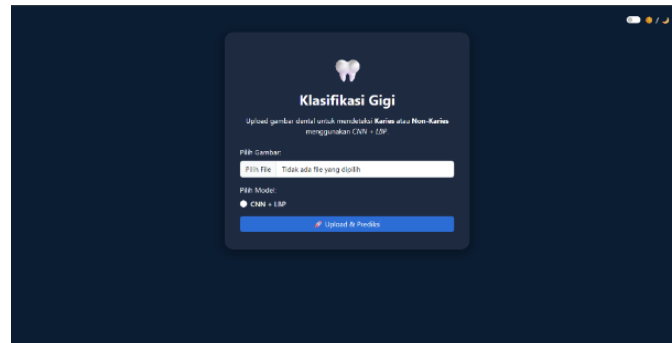
Proses pelatihan berhenti pada epoch ke-25 melalui penerapan *early stopping* dengan *patience* = 10 untuk mencegah *overfitting*. Hasil akhir menunjukkan bahwa model CNN tanpa LBP mencapai akurasi sebesar 0,9282 (93%), dengan *training accuracy* 0,9879 dan *validation accuracy* 0,9077. Hal ini membuktikan bahwa model CNN tanpa LBP sudah mampu mengklasifikasikan citra gigi dengan akurasi tinggi, meskipun stabilitasnya masih lebih rendah dibandingkan dengan model CNN yang menggunakan LBP.

Implementasi UI dengan Flask

Tujuan utama dari Website Klasifikasi ini adalah untuk memudahkan proses pendeteksian karies gigi secara otomatis dengan menggunakan model yang sebelumnya telah terbukti memiliki tingkat akurasi tinggi pada tahap pengujian. Sistem ini dijalankan melalui framework Flask dan untuk sementara masih berbasis pada lingkungan *localhost*, sehingga akses hanya dapat dilakukan pada perangkat yang berada di komputer yang sama dengan server aplikasi.

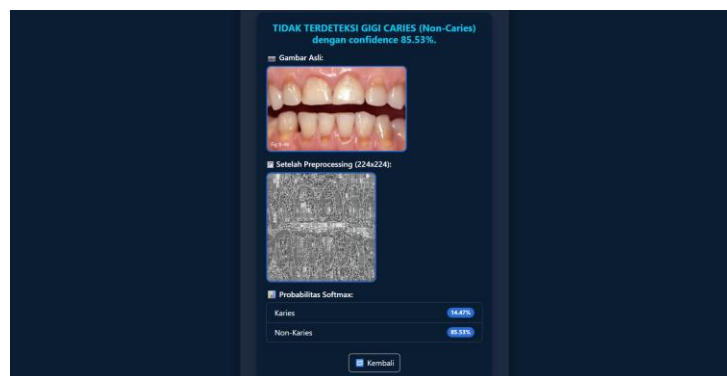
MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Gambar 5. Halaman Upload Citra



Pada Gambar 5. pengguna diminta untuk upload gambar gigi yang akan di prediksi. Tersedia juga tombol pilih tema pada pojok kanan atas, sebelum upload dan prediksi gambar, pengguna harus memilih model dengan nama tombol CNN+LBP yang berarti menandakan program yang digunakan Adalah klasifikasi dengan *Local Binary Pattern* (LBP) dan *Convolutional Neural Network* (CNN). Gambar yang di upload harus menggunakan format png, jpg, atau jpeg. Kemudian pengguna dapat melakukan prediksi gambar dengan menekan tombol upload & prediksi, maka sistem akan memproses klasifikasi gambar tersebut.

Gambar 6. Halaman Hasil Prediksi



Gambar 6. menampilkan hasil keluaran sistem setelah pengguna mengunggah citra gigi dan memilih model klasifikasi. Bagian atas menunjukkan hasil prediksi (Karies atau Non-Karies) beserta confidence. Di bawahnya ditampilkan citra asli untuk verifikasi input dan citra hasil preprocessing berukuran 224x224 piksel yang telah melalui proses LBP sebelum klasifikasi. Bagian bawah memuat nilai probabilitas softmax untuk masing-

masing kelas sebagai indikator keyakinan model, di mana kelas dengan nilai tertinggi menjadi hasil akhir. Sistem juga menyediakan tombol Kembali agar pengguna dapat mengunggah citra baru. Dengan demikian, tampilan hasil prediksi tidak hanya menampilkan klasifikasi akhir, tetapi juga informasi pendukung berupa visualisasi citra dan nilai probabilitas model.

Pengujian UI

Tabel 1. hasil pengujian sistem klasifikasi citra gigi menggunakan model LBP–CNN

Gambar	Label	Hasil Sistem	Confidence
	Karies	Karies	95.00%
	Karies	Karies	87.75%
	Karies	Karies	79.39%
	Non-karies	Non karies	82.62%
	Non-karies	Non karies	97.53%
	Non-karies	Non karies	85.53%

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

Tabel 1. tersebut memperlihatkan hasil pengujian sistem klasifikasi citra gigi menggunakan model LBP–CNN. Berdasarkan data, sistem mampu mengenali kategori Karies dan Non-Karies dengan tingkat akurasi yang tinggi. Untuk kelas Karies, sistem memberikan prediksi yang sesuai dengan label sebenarnya dengan tingkat kepercayaan berkisar antara 79,39% hingga 95,00%, menunjukkan konsistensi model dalam mendeteksi area gigi yang terindikasi karies. Sementara itu, pada kelas Non-Karies, hasil prediksi juga sesuai dengan label aktual dengan nilai confidence antara 82,62% hingga 97,53%, yang menandakan kemampuan model dalam membedakan citra gigi sehat dengan tingkat keyakinan yang tinggi. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa model klasifikasi berbasis LBP dan CNN mampu memberikan prediksi yang akurat dan stabil pada kedua kelas, baik Karies maupun Non-Karies, dengan nilai kepercayaan yang relatif tinggi, sehingga sistem dinilai andal untuk mendukung proses identifikasi karies gigi berbasis citra.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membangun model klasifikasi karies gigi berbasis citra gigi dengan mengombinasikan metode *Local Binary Pattern* (LBP) dan *Convolutional Neural Network* (CNN) yang menghasilkan akurasi sebesar 88%. Kombinasi LBP dan CNN terbukti mampu memperkuat representasi fitur tekstur citra, sehingga model dapat membedakan karies dan non-karies dengan performa stabil. Selain itu, model telah diintegrasikan ke dalam antarmuka web berbasis Flask, yang memungkinkan pengguna mengunggah citra gigi dan memperoleh hasil klasifikasi secara langsung. Nilai confidence model berkisar antara 79,39% hingga 95,00% untuk kelas karies, dan 82,62% hingga 97,53% untuk kelas non-karies, yang menandakan tingkat keyakinan prediksi yang tinggi.

Sistem memiliki beberapa kelebihan, yaitu kombinasi metode LBP dan CNN yang meningkatkan kemampuan ekstraksi fitur citra, serta antarmuka Flask yang memudahkan penggunaan secara real-time melalui tampilan web yang sederhana dan responsif. Model juga menunjukkan stabilitas dan kemampuan generalisasi yang baik tanpa indikasi

overfitting. Namun, terdapat beberapa kekurangan, seperti keterbatasan jumlah dan variasi dataset yang dapat memengaruhi kemampuan model terhadap data baru, sistem masih berjalan pada server lokal (localhost) sehingga belum dapat diakses secara luas. Sebagai saran pengembangan, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas dan memvariasikan dataset klinis agar model lebih adaptif terhadap citra dunia nyata, menerapkan augmentasi citra, serta mengeksplorasi arsitektur CNN yang lebih kompleks seperti ResNet, VGG, atau EfficientNet guna meningkatkan akurasi. Selain itu, sistem Flask perlu dikembangkan agar dapat diakses secara online dengan keamanan data yang baik, serta dilakukan uji klinis pada data pasien nyata untuk menilai efektivitasnya.

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

DAFTAR REFERENSI

- A. A. Ningrum and Ihsanudin, “Penerapan framework Flask pada machine learning dalam memprediksi umur transformer,” *KONVERGENSI*, vol. 19, no. 2, pp. 51–59, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30996/konv.v19i2.8239>. [16]
- A. Mujiono, K. Kartini, and E. Y. Puspaningrum, “Implementasi model hybrid CNN-SVM pada klasifikasi kondisi kesegaran daging ayam,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 1, pp. 756–763, 2024. [Online]. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/daa7/3cfcb0882fabe6140b01eb4b7ee6b168e19a.pdf>. [9]
- A.A. Achyar, A. M. Olow, M. R. Perdana, A. Sundawijaya, and A. D. Goenawan, “Identifikasi ras wajah dengan menggunakan metode deep learning model Keras,” *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, vol. 1, no. 1, pp. 29–37, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.55606/jtmei.v1i1.779>. [11]
- C. Janiesch, P. Zschech, and K. Heinrich, “Machine learning and deep learning,” *arXiv preprint arXiv:2104.05314*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.05314>. [5]
- F. Mursyid, M. A. Albarzah, I. Irnawati, W. C. Juliana, M. R. Adiyatma, and F. M. Hamundu, “Aplikasi deteksi penyakit tanaman cabai menggunakan teknologi machine learning dan Flask,” *Jurnal Pustaka Data (Pusat Akses Kajian Database, Analisa Teknologi, dan Arsitektur Komputer)*, vol. 5, no. 1, pp. 176–182, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.pustakagalerimandiri.co.id/index.php/pustakadata/article/download/1026/718>. [15]
- G. B. Waluyo, Y. A. Sari, and B. Rahayudi, “Pengenal citra makanan kue tradisional menggunakan ekstraksi fitur HSV color moment dan local binary pattern dengan K-Nearest Neighbour,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 5, no. 12, pp. 5641–5649, 2021. [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/10312>. [3]

- J. Elektronika and D. Komputer, “Penerapan serverless computing dalam mendeteksi penyakit mulut dengan metode CNN,” *Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 16, no. 2, pp. 230–238, 2023. [Online]. Available: <https://journal.stekom.ac.id/index.php/elkom>. [12]
- K. Azmi, S. Defit, and S. Sumijan, “Implementasi convolutional neural network (CNN) untuk klasifikasi batik tanah liat Sumatera Barat,” *Jurnal Unitek*, vol. 16, no. 1, pp. 28–40, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.sttdumai.ac.id/index.php/unitek/article/download/504/350>. [4]
- N. S. Fatimah and S. Agustin, “Klasifikasi citra batik menggunakan local binary pattern (LBP) dan support vector machine (SVM),” *Jurnal Algoritma*, vol. 22, no. 1, pp. 185–196, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.itg.ac.id/index.php/algoritma/article/download/2208/1310>. [7]
- P. A. Nugroho, I. Fenriana, and R. Arijanto, “Implementasi deep learning menggunakan convolutional neural network (CNN) pada ekspresi manusia,” *Algor*, vol. 2, no. 1, pp. 12–20, 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.ubd.ac.id/index.php/algor/article/download/441/259> [1]
- Q. S. A. Wasilah, M. Martanto, A. R. Dikananda, and D. Rohman, “Implementasi CNN ResNet50 untuk mendeteksi kualitas buah dan sayuran di pasar tradisional,” *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 3, pp. 3675–3682, 2025. [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/jati/article/download/13349/7490>. [14]
- R. A. Saputra, D. R. R. Putra, and M. A. Asyrofi, “Implementasi convolutional neural network (CNN) untuk mendeteksi penggunaan masker pada gambar,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 11, no. 3, pp. 710–714, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.23960/jitet.v11i3.3286>. [13]
- R. Atmaja, S. Sriani, and S. Supiyandi, “Penerapan local binary pattern (LBP) dan K-nearest neighbors (KNN) untuk mendeteksi penyakit buah tomat,” *Journal of Science and Social Research*, vol. 7, no. 3, pp. 1028–1037, 2024. [Online]. Available: <https://www.jurnal.goretanpena.com/index.php/JSSR/article/download/2104/1271>. [8]
- S. Supiyandi, W. E. Judistira, S. Nurliani, R. S. Darmono, and I. Putri, “Penerapan deep learning dalam analisis citra gigi,” *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial*

MODEL KLASIFIKASI KARIES GIGI PADA CITRA GIGI BERBASIS LOCAL BINARY PATTERN (LBP) DENGAN MENGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN)

(JUPENDIS), vol. 2, no. 4, pp. 117–128, 2024. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.54066/jupendis.v2i4.2165>. [6]

T. Hidayatullah and S. Wibisono, “Pembobotan atribut dengan pairwise comparison pada case based reasoning deteksi dini penyakit gigi menggunakan KNN,” *Explore IT: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Informatika*, vol. 14, no. 1, pp. 17–23, 2022. [Online]. Available:
<https://jurnal.yudharta.ac.id/v2/index.php/EXPLORE-IT/article/view/2946>
[2]

X. Zhao, L. Wang, Y. Zhang, X. Han, M. Deveci, and M. Parmar, “A review of convolutional neural networks in computer vision,” *Artificial Intelligence Review*, vol. 57, Article 99, 2024. [Online]. Available:
<https://doi.org/10.1007/s10462-024-10721-6>. [10]