

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan evaluasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa seluruh tujuan penelitian ini telah tercapai dengan baik. Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan *model hybrid EfficientNet–Vision Transformer* untuk klasifikasi citra penyakit gigi dan mulut berbasis *deep learning*, yang mengombinasikan kemampuan ekstraksi fitur lokal dari arsitektur *Convolutional Neural Network* dan pemodelan konteks global dari *Vision Transformer*.

Pemilihan *model hybrid* sebagai model terbaik juga diperkuat melalui pengujian statistik menggunakan uji *Wilcoxon Signed-Rank*. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan performa yang signifikan secara statistik antara *model hybrid* dan *Vision Transformer* pada tingkat signifikansi 0,05. Ini menunjukkan bahwa *model hybrid* unggul secara konsisten di seluruh kelas. Disisi lain, perbandingan antara *model hybrid* dan *EfficientNet-B3* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hasil dari analisis *Wilcoxon Signed-Rank* menegaskan bahwa pemilihan model terbaik dalam penelitian ini tidak hanya didasarkan pada capaian metrik tertinggi, tetapi juga pada kestabilan performa dan hasil statistik.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa *model hybrid* yang dikembangkan mampu mencapai performa yang tinggi dan stabil, dengan akurasi sebesar 93,69% serta nilai *F1-score* berbobot dan *macro F1-score* yang tinggi, yang mencerminkan keseimbangan performa antar kelas. Meskipun *model EfficientNet-B3* secara numerik menunjukkan capaian metrik agregat yang sangat baik, *model hybrid* dipilih sebagai model terbaik (*best selected model*) karena menunjukkan performa yang lebih seimbang dan konsisten pada seluruh kelas penyakit, khususnya pada kelas dengan karakteristik visual yang kompleks dan memiliki kemiripan tinggi, seperti *Calculus* dan *Gingivitis*. Hal ini menunjukkan bahwa penggabungan fitur lokal dan global memberikan kontribusi positif terhadap kemampuan generalisasi

model pada *dataset* yang terbatas dan tidak seimbang.

Selain itu, penelitian ini juga berhasil mengevaluasi efektivitas *model hybrid* melalui pengujian kuantitatif dan pengujian implementasi secara langsung. Pengujian implementasi menunjukkan bahwa *model hybrid* dapat diintegrasikan dengan baik ke dalam aplikasi berbasis *Streamlit* dan mampu melakukan klasifikasi citra penyakit gigi dan mulut secara real-time dengan waktu respons yang cepat. Sistem yang dikembangkan dapat digunakan secara berulang tanpa gangguan, sehingga membuktikan bahwa *model* tidak hanya valid secara eksperimental, tetapi juga layak digunakan sebagai prototipe sistem diagnosis berbasis citra.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan *model* klasifikasi citra penyakit gigi dan mulut dengan pendekatan hybrid CNN–Transformer, serta menunjukkan bahwa *model* yang dikembangkan dapat diterapkan ke dalam sistem aplikasi yang fungsional. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem diagnosis berbasis citra yang lebih lanjut di bidang kesehatan gigi dan mulut.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan sistem yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut. Saran-saran ini disusun dengan mempertimbangkan keterbatasan yang ditemui selama pelaksanaan penelitian serta potensi penerapan sistem di masa mendatang.

Bagi pihak yang akan melanjutkan atau mengembangkan penelitian ini, disarankan untuk memperluas jumlah dan keragaman *dataset* citra penyakit gigi dan mulut, serta memperbaiki keseimbangan distribusi data antar kelas. Penambahan data dari berbagai sumber dan kondisi pencahayaan diharapkan dapat meningkatkan kemampuan generalisasi model dan mengurangi bias prediksi pada kelas-kelas tertentu. Selain itu, eksplorasi arsitektur model lain, seperti variasi *Vision Transformer* atau pendekatan *hybrid* yang lebih kompleks, dapat dilakukan untuk memperoleh performa yang lebih optimal. Penggunaan teknik augmentasi

lanjutan atau strategi penanganan data tidak seimbang juga dapat menjadi fokus pengembangan berikutnya.

Dari sisi implementasi sistem, pengembangan fitur aplikasi dapat dilakukan untuk meningkatkan kemudahan penggunaan dan fungsionalitas sistem. Beberapa pengembangan yang dapat dipertimbangkan antara lain penambahan fitur validasi kualitas citra input, sehingga sistem dapat memberikan peringatan apabila citra yang diunggah tidak sesuai dengan kriteria yang dianjurkan. Selain itu, sistem dapat dikembangkan untuk mendukung klasifikasi penyakit di luar kelas yang telah didefinisikan atau memberikan indikasi bahwa citra yang diunggah berada di luar cakupan model.

Bagi pihak pengguna atau pemangku kepentingan, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini sebaiknya digunakan sebagai alat bantu awal (*decision support system*) dan bukan sebagai pengganti diagnosis klinis. Penggunaan sistem oleh tenaga kesehatan dapat dipertimbangkan sebagai sarana pendukung dalam proses skrining awal penyakit gigi dan mulut. Untuk penerapan pada skala yang lebih luas, disarankan dilakukan pengujian lanjutan di lingkungan nyata serta evaluasi bersama tenaga medis guna memastikan akurasi, keamanan, dan relevansi hasil prediksi terhadap praktik klinis.

Dengan adanya pengembangan dan evaluasi lanjutan sesuai saran tersebut, sistem klasifikasi citra penyakit gigi dan mulut berbasis *model hybrid EfficientNet–Vision Transformer* diharapkan dapat memberikan kontribusi yang lebih luas dan berkelanjutan, baik dalam pengembangan keilmuan di bidang informatika maupun dalam penerapan praktis di bidang kesehatan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Factsheet Kesehatan Gigi dan Mulut (Gilut)*. Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan, 2023. [Online]. Available: https://repository.badankebijakan.kemkes.go.id/id/eprint/5534/1/04%20factsheet%20Gilut_bahasa.pdf. [Accessed: Sept. 4, 2025].
- [2] A. P. Sinaga, A. R. Ismail, M. A. P. Siregar, dan I. D. Saraswati, "Korelasi Disparitas Ketersediaan Tenaga Medis Gigi Antardaerah Terhadap Pemanfaatan Layanan Gigi dan Mulut di Indonesia," *Jurnal Manajemen Pelayanan Kesehatan*, vol. 25, no. 4, pp. 217–224, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/366535008_Korelasi_Disparitas_Ketersediaan_Tenaga_Medis_Gigi_Antardaerah_Terhadap_Pemanfaatan_Layanan_Gigi_dan_Mulut_di_Indonesia. [Accessed: Sept. 4, 2025]
- [3] M. Harahap and A. M. Husein, "Peneraparan Efficient-Net dalam mengklasifikasi kanker kulit," Jul. 17, 2024. <https://jurnal.unprimdn.ac.id/index.php/isbn/article/view/5405>
- [4] J. Yang *et al.*, "Focal self-attention for Local-Global Interactions in Vision Transformers," *arXiv.org*, Jul. 01, 2021. <https://arxiv.org/abs/2107.00641>
- [5] W. Wahyuningsih, G. S. Nugraha, and R. Dwiyanaputra, "CLASSIFICATION OF DENTAL CARIES DISEASE IN TOOTH IMAGES USING A COMPARISON OF EFFICIENTNET-B0, MOBILENETV2, RESNET-50, INCEPTIONV3 ARCHITECTURES", *J. Tek. Inform. (JUTIF)*, vol. 5, no. 4, pp. 177–185, Jul. 2024.
- [6] F. Lavenia, C. M. S. Ramdani, dan I. Hoeronis, "Klasifikasi Penyakit Pulpitis Pada Citra Radiografi Periapikal Menggunakan Metode Convolutional Neural Network (CNN)," **Media Jurnal Informatika**, vol. 16, no. 1, Jun. 2024. doi: 10.35194/mji.v16i1.4098.
- [7] A. N. Pratama, "Sistem Klasifikasi Penyakit Kulit pada Manusia Convolutional Neural Network (CNN) EfficientNet B2," *ejurnal.uibu.ac.id*, Jun. 2024, doi: 10.33503/paradigma.v30i2.439.
- [8] R. R. A. Author, "PENDETEKSIAN DINI STUNTING PADA BALITA MENGGUNAKAN VISION TRANSFORMER (VIT) BERBASIS CITRA TUBUH," *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3S1, Oct. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3s1.7888.
- [9] "PENERAPAN COMPUTER VISION UNTUK KLASIFIKASI PENYAKIT MATA MENGGUNAKAN ARSITEKTUR VISION

TRANSFORMERS (VITS) PADA CITRA FUNDUS - Repository Nusa Putra University.” <https://repository.nusaputra.ac.id/id/eprint/1584/>

- [10] A. Rekawati and F. Frisca, “Hubungan kebiasaan konsumsi makanan kariogenik terhadap prevalensi karies gigi pada anak SD Negeri 3 Fajar Mataram,” *Tarumanagara Medical Journal*, vol. 3, no. 1, Oct. 2020, doi: 10.24912/tmj.v3i1.9719.
- [11] F. Handayani, M. Darjan, Y. Malinda, and L. Yondri, "Dental *Calculus* as a Source of Bacterial DNA Analysis in Prehistoric Humans: A Systematic Literature Review," *PURBAWIDYA: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Arkeologi*, vol. 12, no. 1, pp. 70–82, Jun. 2023, doi:10.55981/purbawidya.2023.261
- [12] D. Diah, T. Widodorini, and N. E. Nugraheni, “PERBEDAAN ANGKA KEJADIAN *GINGIVITIS* ANTARA USIA PRA-PUBERTAS DAN PUBERTAS DI KOTA MALANG”, *E-Prodenta J. Dent.*, vol. 2, no. 1, pp. 108–115, Jun. 2018.
- [13] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Buku Kesehatan Gigi dan Mulut*, Jakarta: Kemenkes RI, 2019. [Online]. Available: <https://p2ptm.kemkes.go.id>
- [14] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, *Panduan Pelayanan Kesehatan Gigi dan Mulut*, Jakarta: Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan, 2020. [Online]. Available: <https://www.kemkes.go.id>
- [15] R. S. Pratiwi and S. Mulyanti, “Prevalensi dan karakteristik hypodontia pada pasien rumah sakit gigi dan mulut,” *Jurnal Kedokteran Gigi Indonesia*, vol. 8, no. 2, pp. 85–91, 2019. [Online]. Available: <https://jkg-udayana.org>
- [16] Penerapan Algoritma *Deep learning* Convolutional Neural Network Dalam Menentukan Kematangan Buah Jeruk Manis Berdasarkan Citra Red Green Blue (RGB)”, *JTIK*, vol. 10, no. 1, pp. 59–66, Feb. 2023, doi: [10.25126/jtiik.2023105695](https://doi.org/10.25126/jtiik.2023105695).
- [17] S. S. R. Atmadja and A. H. Rismayana, “Klasifikasi Brand Sepatu Nike Berbasis Citra dengan Algoritma Convolutional Neural Network (CNN),” *Jurnal ICT Information Communication & Technology*, vol. 25, no. 1, Jul. 2025, doi: 10.36054/jict-ikmi.v25i1.306.
- [18] P. A. Nugroho, I. Fenriana, and R. Arijanto, “IMPLEMENTASI *DEEP LEARNING* MENGGUNAKAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) PADA EKSPRESI MANUSIA,” Nov. 05, 2020. <https://jurnal.ubd.ac.id/index.php/alogor/article/view/441>
- [19] “Optimalisasi *Model* Convolutional Neural Network dengan Arsitektur MobileNetV2 Pada Sistem Otomatis Deteksi Penyakit Tanaman Jagung Berdasarkan Citra Daun”, *simpatik*, vol. 5, no. 2, pp. 82–91, Dec. 2025, doi:

[10.31294/simpatik.v5i2.9976](https://doi.org/10.31294/simpatik.v5i2.9976).

- [20] M. Harahap and A. M. Husein, “Peneraparan Efficient-Net dalam mengklasifikasi kanker kulit,” Jul. 17, 2024. <https://jurnal.unprimdn.ac.id/index.php/isbn/article/view/5405>
- [21] “Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks,” *Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2019.[Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1905.11946>
- [22] T. Febriyanto and S. Syofian, “Implementasi Deep Learning Menggunakan Vision Transformer Untuk Klasifikasi Penyakit Daun Padi”, *TIFDA*, vol. 1, no. 2, pp. 34–39, Dec. 2024.
- [23] Y. Chen *et al.*, “Hybrid CNN–Transformer model for medical image classification,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 126299–126312, 2021.[Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9522058>
- [24] S. Yun, D. Han, S. J. Oh, S. Chun, J. Choe, and Y. Yoo, “CutMix: Regularization Strategy to Train Strong Classifiers with Localizable Features,” *arXiv.org*, May 13, 2019. <https://arxiv.org/abs/1905.04899>
- [25] E. Harris, A. Marcu, M. Painter, M. Niranjana, A. Prügell-Bennett, and J. Hare, “FMIX: Enhancing Mixed sample data augmentation,” *arXiv.org*, Feb. 27, 2020. <https://arxiv.org/abs/2002.12047>
- [26] T. Fawcett, “An introduction to ROC analysis,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 8, pp. 861–874, 2006.[Online].
- [27] C. D. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze, “Introduction to Information Retrieval,” *Cambridge University Press*, 2008. [Online]. Available: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/>
- [28] D. M. W. Powers, “Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation,” *Journal of Machine Learning Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 37–63, 2011. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2010.16061>
- [29] S. Raschka, “Model evaluation, model selection, and algorithm selection in machine learning,” *arXiv preprint*, 2018. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1811.12808>
- [30] A. Tanwar, *et al.*, “Hybrid EfficientNet–Vision Transformer for Gastrointestinal Disease Classification,” *Scientific Reports*, vol. 15, Article no. 12128, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-12128-x.
- [31] S. F. Santoso, S. Hadi, B. Nugroho, and I. G. S. Mas Diyasa, “Implementation Of Hybrid EfficientNet V2 And Vision Transformer for Apple Leaf Diseases Classification”, *Inf. Tech. Int. J.*, vol. 3, no. 1, May 2025.