

IMPLEMENTATION OF A DEEP LEARNING MODEL USING TEACHABLE MACHINE FOR EARLY PNEUMONIA DETECTION FROM X-RAY IMAGES

IMPLEMENTASI MODEL DEEP LEARNING DARI TEACHABLE MACHINE UNTUK DETEKSI DINI PNEUMONIA BERDASARKAN CITRA X-RAY

Primanto¹, Allwin M. Simarmata²

^{1,2}Universitas Prima Indonesia

Jl. Sampul No.3, Sei Putih Barat, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia.

primanto81@gmail.com¹, allwinmsimarmata@unprimdn.ac.id²

Abstract – Pneumonia is one of the leading infectious lung diseases that continues to cause high morbidity and mortality rates, particularly among children and the elderly. Early detection is crucial to prevent severe complications; however, the limited availability of radiologists in Indonesia poses a significant challenge. This study implements a deep learning model using Teachable Machine to detect pneumonia from chest X-ray images. The dataset was obtained from an open-source repository on Kaggle, consisting of 1,341 normal lung images and 3,875 pneumonia lung images. The training process was carried out with 50 epochs, a learning rate of 0.001, and a batch size of 16. The experimental results demonstrated that the model achieved 100% accuracy, precision, recall, and F1-score in detecting pneumonia. These findings indicate that Teachable Machine can serve as an effective solution for developing early pneumonia detection models without requiring advanced programming skills. Nevertheless, the relatively small dataset size may lead to potential overfitting, highlighting the need for further research with larger and more diverse datasets. The contribution of this study lies in providing an alternative approach to artificial intelligence implementation that is simple, fast, and cost-effective, particularly for healthcare facilities in resource-limited regions.

Keywords - Deep Learning, Teachable Machine, Pneumonia, X-ray Images, Early Detection

Abstrak - Pneumonia adalah jenis infeksi paru-paru yang termasuk dalam kategori penyakit menular yang menyumbang secara signifikan terhadap tingginya tingkat kesakitan dan kematian, terutama di kalangan usia anak-anak dan lansia. Deteksi dini sangat diperlukan untuk mencegah komplikasi serius, namun ketersediaan tenaga radiologi yang terbatas di Indonesia menjadi tantangan tersendiri. Penelitian ini mengimplementasikan model deep learning berbasis Teachable Machine untuk mendeteksi pneumonia melalui citra X-Ray. Dataset yang digunakan berasal dari publikasi terbuka di Kaggle, dengan total 1341 citra paru-paru normal dan 3875 citra paru-paru penderita pneumonia. Proses pelatihan dilakukan dengan parameter epoch sebanyak 50, learning rate 0.001, dan batch size 16. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi pneumonia dengan tingkat akurasi, presisi, recall, dan F1-score mencapai 100%. Temuan ini membuktikan bahwa Teachable Machine dapat menjadi solusi efektif untuk membangun model deteksi dini pneumonia tanpa memerlukan keahlian pemrograman tingkat lanjut. Meski demikian, keterbatasan jumlah dataset yang relatif kecil berpotensi menimbulkan overfitting, sehingga penelitian lanjutan dengan dataset yang lebih besar dan variatif sangat disarankan. Kontribusi penelitian ini adalah memberikan alternatif penerapan kecerdasan buatan yang mudah, cepat, dan murah bagi fasilitas kesehatan, khususnya di wilayah dengan keterbatasan sumber daya medis.

Kata Kunci - Deep Learning, Teachable Machine, Pneumonia, Citra X-ray, Deteksi Dini

I. PENDAHULUAN

Pneumonia merupakan jenis infeksi paru-paru yang berperan besar dalam meningkatnya jumlah morbiditas dan mortalitas di berbagai negara, khususnya pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia [1]. Deteksi dini menjadi sangat penting karena keterlambatan diagnosis dapat menyebabkan komplikasi serius bahkan kematian. Perkembangan teknologi deep learning dalam bidang kesehatan telah membuka peluang baru dalam proses diagnosis berbasis citra medis, terutama citra X-ray, yang merupakan modalitas radiologi paling umum digunakan [2]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa model berbasis *Convolutional Neural Networks (CNN)* mampu mengekstraksi fitur visual dengan efektif sehingga meningkatkan akurasi klasifikasi citra medis [3]. Selain itu, pendekatan berbasis *Vision Transformer (ViT)* mulai digunakan dan terbukti lebih baik dalam menangkap hubungan spasial global antar fitur citra, sehingga dapat meningkatkan performa deteksi penyakit paru dibandingkan CNN [4].

Walaupun penelitian sebelumnya telah banyak membahas pemanfaatan deep learning untuk deteksi pneumonia, sebagian besar model yang dikembangkan masih berbasis pemrograman manual [5], [6], [7]. Model tersebut membutuhkan keterampilan teknis tingkat lanjut, baik dalam pemrograman maupun pengolahan data, sehingga sulit diadopsi di fasilitas kesehatan dengan keterbatasan sumber daya. Kondisi ini sangat relevan di Indonesia, di mana distribusi tenaga ahli radiologi masih belum merata, khususnya di daerah terpencil [8], [9]. Oleh karena itu, terdapat kesenjangan penelitian terkait kebutuhan sistem deteksi pneumonia yang tidak hanya memiliki akurasi tinggi, tetapi juga mudah digunakan oleh tenaga medis tanpa latar belakang teknis. Kesenjangan ini penting untuk dijawab agar solusi berbasis kecerdasan buatan dapat diterapkan secara lebih luas dan merata.

Untuk menjawab kesenjangan tersebut, salah satu pilihan yang bisa dimanfaatkan yaitu Teachable Machine, sebuah layanan buatan Google memungkinkan pembuatan model *deep learning* tanpa memerlukan keterampilan pemrograman tingkat lanjut. Platform ini memungkinkan tenaga medis maupun peneliti non-programmer membangun model klasifikasi berbasis citra dengan cara yang lebih sederhana dan efisien. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa *Teachable Machine* memiliki potensi untuk menghasilkan model dengan performa yang bagus, cepat, akurat jika didukung dengan dataset yang memadai [10]. Dengan pendekatan ini, proses adopsi teknologi *Artificial Intelligence (AI)* di bidang kesehatan dapat lebih cepat karena hambatan teknis dapat diminimalkan. Selain itu, penggunaannya juga relevan untuk fasilitas kesehatan dengan keterbatasan tenaga ahli, sehingga bisa menjadi solusi praktis di lapangan.

Berdasarkan informasi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan model deteksi pneumonia berbasis citra X-ray menggunakan *Teachable Machine* dan mengevaluasi efektivitasnya sebagai sistem diagnosis dini. Tujuan khusus penelitian ini adalah menguji sejauh mana platform tanpa pemrograman ini dapat menghasilkan akurasi deteksi yang sebanding dengan model berbasis pemrograman manual. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan solusi deteksi dini pneumonia yang tidak hanya akurat tetapi juga lebih mudah diadopsi, murah, dan dapat diterapkan di fasilitas kesehatan dengan keterbatasan tenaga ahli radiologi. Hal ini menjadi pembeda utama dengan penelitian sebelumnya yang lebih menitikberatkan pada implementasi model berbasis pengkodean manual. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat pemanfaatan kecerdasan buatan dalam bidang kesehatan, sekaligus memberikan manfaat praktis bagi wilayah yang memiliki keterbatasan sumber daya.

II. SIGNIFIKANSI STUDI

A. Studi Literatur

Pemanfaatan Teachable Machine telah menjadi salah satu alternatif inovatif dalam pengembangan model klasifikasi berbasis citra. Syawal Laan dan Malahina membuktikan bahwa teknologi ini mampu digunakan dalam deteksi jenis tanah berbasis citra digital, dengan akurasi mencapai 90% serta memberikan kontribusi signifikan bagi sektor pertanian [11]. Pada penelitian lain, Teachable Machine juga digunakan untuk klasifikasi citra mineral seperti kalsit, kuarsa, dan magnetit. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan berbasis CNN mampu memberikan identifikasi cepat dengan tingkat akurasi tinggi, sehingga mendukung efisiensi dalam eksplorasi geologi [12]. Hal ini menegaskan bahwa platform tersebut dapat diterapkan lintas bidang, baik pertanian maupun geologi.

Dalam ranah aplikasi edukasi dan hobi, teknologi ini juga menunjukkan efektivitas yang baik. Implementasi machine learning pada aplikasi Tierra digunakan untuk mengidentifikasi berbagai tanaman hias dengan memanfaatkan dataset citra [13]. Studi lain mengenai klasifikasi emosi wajah manusia (happy, sad, angry, neutral) juga memanfaatkan Teachable Machine sebagai sarana pembelajaran otomatis berbasis citra, dengan hasil akurasi yang cukup baik dalam pengenalan ekspresi [14]. Selain itu, penerapan Teachable Machine untuk mendeteksi jenis tanah berbasis citra digital juga memperlihatkan dampak positif pada efisiensi dan keberlanjutan pengelolaan sumber daya. Kontribusi penelitian-penelitian tersebut memperlihatkan fleksibilitas platform ini dalam menangani berbagai domain aplikasi yang berbeda.

Pada sektor industri, Nugroho dkk, mengintegrasikan Teachable Machine dengan Raspberry Pi untuk inspeksi cacat kain. Hasil uji coba memperlihatkan akurasi klasifikasi sebesar 98,48% dengan rata-rata waktu inferensi 142,47 ms, sehingga mendukung efisiensi produksi dan mengurangi kesalahan manual [15]. Hal ini memperlihatkan bahwa kombinasi antara perangkat keras terjangkau dan machine learning berbasis Teachable Machine dapat menghasilkan solusi praktis di dunia nyata. Sementara itu, Nguyen & Bui mengembangkan model berbasis Teachable Machine dan MobileNets untuk diagnosis penyakit melalui citra X-Ray, dengan akurasi 95% dan mendukung implementasi berbasis web [16]. Penelitian tersebut menekankan keunggulan integrasi deep learning dengan antarmuka web yang mudah diakses.

Studi terbaru juga mengarah pada penerapan model deep learning dalam domain kesehatan. Artikel dalam Advancing Pulmonary Infection Diagnosis menyoroti berbagai pendekatan deep learning untuk analisis data radiologi, termasuk dalam mendeteksi pneumonia, dengan tingkat akurasi yang signifikan. Studi ini menekankan pentingnya pemanfaatan jaringan CNN, ResNet, dan arsitektur modern lainnya dalam meningkatkan sensitivitas dan spesifisitas diagnosis radiologi [17]. Dengan demikian, penerapan Teachable Machine dalam konteks deteksi pneumonia berbasis citra X-Ray menjadi sangat relevan untuk dikaji lebih lanjut.

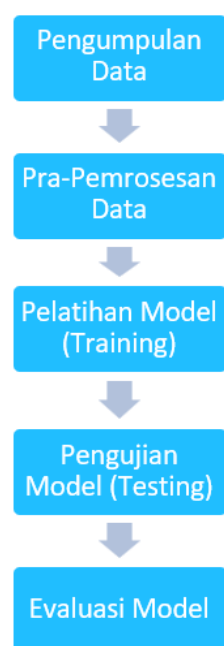
Untuk memperjelas kontribusi penelitian terdahulu, berikut tabel ringkasan:

TABEL I. PERBANDINGAN PENELITIAN

Penulis	Topik	Metode	Akurasi	Kelebihan	Keterbatasan
Laan & Malahina	Identifikasi tanah	Teachable Machine (CNN)	90% ^f	Efisiensi pertanian, berbasis web	Dataset terbatas, belum diuji di medis
Nugroho dkk	Inspeksi cacat kain	Teachable Machine + Raspberry Pi (CNN)	98,48%	Real-time, efisiensi industri	Bukan domain kesehatan
Johannes A. dkk	Identifikasi mineral	Teachable Machine (CNN)	>90%	Identifikasi cepat geologi	Dataset terbatas
Immanuel Salintohe dkk	Identifikasi tanaman hias	Machine Learning (CNN)	Tinggi	Edukasi dan aplikasi praktis	Skalabilitas terbatas
Ghofur A dkk	Emosi manusia (happy, sad, angry, neutral)	Teachable Machine (CNN)	Cukup Baik	Deteksi ekspresi sederhana	Variasi dataset terbatas
Nguyen & Bui	Diagnosis penyakit via X-Ray	Teachable Machine + MobileNets	95%	Web-based, remote access	Minim pembahasan non-teknis
Yadav S dkk	Analisis radiologi (pneumonia, infeksi paru)	CNN, ResNet, Deep Learning	Variatif ($\geq 90\%$)	Sensitivitas tinggi diagnosis	Implementasi klinis kompleks

B. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada studi ini memanfaatkan model yang disediakan oleh platform Google yakni Teachable Machine. Adapun alur kerja penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1,:



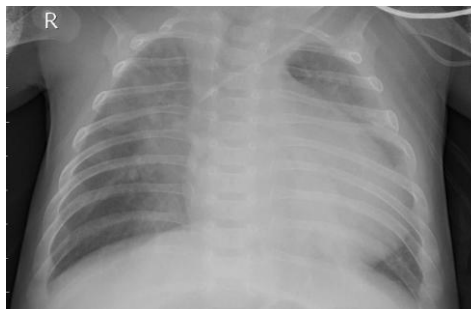
Gambar 1. Alur Kerja

1. Pengumpulan Data

Dataset dikumpulkan berupa beberapa gambar objek yang akan diteliti yaitu paru-paru seseorang menderita penyakit pneumonia dan paru-paru orang yang normal atau sehat, sumber dataset ini dapat dilihat pada website ini: (<https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>) yang menjadi data citra bahan objek penelitian ini.

2. Pra-Pemrosesan Data

Sebelum dilakukan pelatihan, ukuran citra gambar diubah ke dimensi standar 224x224 piksel dan otomatis diubah oleh Teachable Machine. Kemudian gambar dikonversi ke warna grayscale yang dilakukan secara default oleh sistem. Selanjutnya dilakukan augmentasi data seperti rotasi, flipping, dan shifting secara otomatis oleh sistem teachable machine.



Gambar 2. Hasil X-Ray pasien yang terdiagnosis pneumonia



Gambar 3. X-Ray paru-paru dengan kondisi normal

3. Pelatihan Model

Buka <https://teachablemachine.withgoogle.com/train/image>, kemudian buat dua label Normal dan Pneumonia. Upload gambar dari folder train ke masing-masing label yang sudah dibuatkan tadi. Dengan gambar paru-paru normal sebanyak 1341, dan gambar paru-paru penderita pneumonia sebanyak 3875. Kemudian, atur parameter epoch: 50 dengan learning rate: 0.001 dan batch size: 16. Kemudian jalankan proses training model.

4. Pengujian Model

Pada tahap ini, dilakukan pengujian model dengan mengambil gambar citra dari folder tests. Kemudian dilakukan pengujian citra sebanyak 100 gambar paru-paru normal dan 100 gambar penderita pneumonia tiap parameter epoch yang dilatih, kemudian di uji pada teachable machine apakah gambar tersebut di deteksi normal atau pneumonia.

5. Evaluasi Model

Pada langkah ini bertujuan untuk menilai metrik dengan menggunakan rumus seperti pada gambar 4:

$$Accuracy = \frac{TN+TP}{TN+TP+FN+FP} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (2)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (3)$$

$$F1 - Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (4)$$

Keterangan:

TP = True Positive

TN = True Negative

FP = False Positive

Gambar 4. Penilaian Metrik

Hasil evaluasi akan dibandingkan pada setiap variasi paramater untuk melihat pengaruh jumlah parameter terhadap akurasi model.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{90 + 100}{90 + 100 + 0 + 0} = \frac{190}{190} = 1.0 (100\%)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{90}{90 + 0} = 1.0 (100\%)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{90}{90 + 0} = 1.0 (100\%)$$

$$F1-Score = 2 \times \frac{1.0 \times 1.0}{1.0 + 1.0} = 1.0 (100\%)$$

Gambar 5. Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan metrik evaluasi klasifikasi, model Deep Learning berbasis Teachable Machine menunjukkan performa yang sangat tinggi dalam mengidentifikasi hasil X-Ray paru-paru yang sehat maupun yang terkena pneumonia. Dari total data uji yang digunakan, seluruh citra paru-paru normal berhasil terklasifikasi dengan benar sebagai normal sehingga menghasilkan nilai True Negative (TN) sebanyak 100 tanpa adanya kesalahan prediksi (False Positive = 0). Demikian pula, seluruh citra pneumonia juga terdeteksi dengan benar sebagai pneumonia dengan True Positive (TP) sebanyak 90 dan tidak ditemukan kesalahan prediksi (False Negative = 0). Dengan kondisi ini, semua metrik evaluasi utama mencapai nilai maksimal, yaitu accuracy sebesar 100%, precision 100%, recall 100%, dan F1-score 100%. Hasil ini memperlihatkan bahwa model mampu membedakan dengan sangat baik antara citra paru-paru normal dan citra penderita pneumonia. Namun, capaian performa yang sempurna ini perlu dianalisis secara kritis karena ukuran dataset yang digunakan masih relatif kecil dan berpotensi menimbulkan overfitting. Oleh sebab itu, pengujian lebih lanjut dengan dataset yang lebih besar, terdistribusi secara stratified, serta melibatkan perbandingan dengan model baseline lain sangat diperlukan untuk memastikan keandalan dan kemampuan generalisasi model pada kondisi dunia nyata.

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan model Deep Learning dari Teachable Machine terhadap hasil radiografi X-Ray paru-paru sehat, dan penderita infeksi paru-paru pneumonia, sistem mampu melakukan deteksi dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Pada data uji untuk kategori paru-paru normal, seluruh citra yang diuji 100 gambar berhasil teridentifikasi sebagai 100% normal, tidak ditemukan kekeliruan dalam pengelompokan. Temuan ini membuktikan bahwa sistem dapat mengidentifikasi pola citra radiografi normal secara konsisten, serta mengurangi potensi terjadinya false positive dalam proses diagnosis. Sementara itu, pada pengujian citra paru-paru penderita pneumonia, hampir seluruh citra juga terdeteksi dengan hasil 100% pneumonia. Namun terdapat satu kasus pada citra person21_virus_53 yang hanya terklasifikasi dengan probabilitas 41% pneumonia, meskipun tetap masuk ke kategori pneumonia. Kondisi ini mengindikasikan adanya variasi pola radiograf pneumonia yang lebih kompleks, sehingga sistem mengalami sedikit penurunan keyakinan deteksi. Meski demikian, hasil ini tetap tergolong sangat baik karena tidak ada citra pneumonia yang salah diklasifikasikan sebagai normal. Secara keseluruhan, hasil pengujian membuktikan bahwa implementasi model Deep Learning berbasis Teachable Machine sangat potensial untuk deteksi dini pneumonia. Tingginya akurasi pada data normal dan pneumonia menunjukkan keandalan model dalam membedakan kondisi paru-paru sehat dan terinfeksi. Hanya terdapat sedikit penurunan tingkat keyakinan pada kasus tertentu, yang kemungkinan besar disebabkan oleh kualitas citra, variasi intensitas, atau perbedaan pola sebaran infeksi. Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun layak digunakan sebagai sistem pendukung keputusan dalam membantu proses diagnosis medis, khususnya pada tahap deteksi awal pneumonia.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi model deep learning menggunakan Teachable Machine mampu mengidentifikasi adanya pneumonia melalui hasil X-Ray, mendeteksi pneumonia pada citra X-Ray dengan capaian akurasi, presisi, recall, serta F1-score hingga 100%. Hasil ini membuktikan bahwa pendekatan tanpa pemrograman kompleks dapat menjadi solusi efektif dan praktis dalam mendukung diagnosis dini, khususnya pada fasilitas kesehatan yang memiliki keterbatasan tenaga ahli radiologi maupun sumber daya teknis. Meskipun demikian, studi ini masih menyisakan sejumlah keterbatasan yang penting untuk diperhatikan. Sebagai poin awal, jumlah dataset yang digunakan dalam studi ini masih relatif kecil dan tidak sepenuhnya seimbang antara citra paru-paru normal dan pneumonia, sehingga berpotensi menimbulkan overfitting. Kedua, uji coba hanya dilakukan pada data publik dari Kaggle tanpa melibatkan variasi citra radiologi dari kondisi klinis nyata, sehingga kemampuan generalisasi model masih perlu diuji lebih lanjut. Kontribusi ilmiah dari penelitian ini terletak pada penerapan Teachable Machine sebagai alternatif pengembangan model deep learning yang lebih inklusif, mudah digunakan, dan terjangkau, sekaligus memberikan pendekatan baru bagi adopsi teknologi AI dalam bidang medis di Indonesia. Sebagai tindak lanjut, penelitian mendatang disarankan untuk menggunakan dataset yang lebih besar, seimbang, dan beragam secara klinis, serta melakukan perbandingan dengan model deep learning konvensional seperti CNN atau Vision Transformer untuk menilai keunggulan relatif. Selain itu, perlu dilakukan uji coba dalam konteks klinis nyata agar model dapat divalidasi keandalannya sebelum diimplementasikan secara luas sebagai sistem pendukung keputusan medis.

REFERENSI

- [1] S. Sharma and K. Guleria, "A Deep Learning based model for the Detection of Pneumonia from Chest X-Ray Images using VGG-16 and Neural Networks," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 357–366. doi: 10.1016/j.procs.2023.01.018.
- [2] A. Mabrouk, R. P. D. Redondo, A. Dahou, M. A. Elaziz, and M. Kayed, "Pneumonia Detection on Chest X-ray Images Using Ensemble of Deep Convolutional Neural Networks," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 13, Jul. 2022, doi: 10.3390/app12136448.
- [3] G. I. Okolo, S. Katsigiannis, and N. Ramzan, "IEViT: An enhanced vision transformer architecture for chest X-ray image classification," *Comput Methods Programs Biomed*, vol. 226, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.cmpb.2022.107141.
- [4] S. Singh, M. Kumar, A. Kumar, B. K. Verma, K. Abhishek, and S. Selvarajan, "Efficient pneumonia detection using Vision Transformers on chest X-rays," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-52703-2.
- [5] N. Shilpa, W. Ayesha Banu, and P. B. Metre, "Revolutionizing Pneumonia Diagnosis: AI-Driven Deep Learning Framework for Automated Detection From Chest X-Rays," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 171601–171616, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3498944.
- [6] C. Usman, S. U. Rehman, A. Ali, A. M. Khan, and B. Ahmad, "Pneumonia Disease Detection Using Chest X-Rays and Machine Learning," *Algorithms*, vol. 18, no. 2, Feb. 2025, doi: 10.3390/a18020082.
- [7] M. Ali *et al.*, "Pneumonia Detection Using Chest Radiographs with Novel EfficientNetV2L Model," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 34691–34707, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3372588.
- [8] I. Jawaz and R. Rahmadewi, "Sistem Deteksi Pneumonia Paru-Paru dengan Pengolahan Citra Digital dan Machine Learning," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 5 Nomor 1, pp. 138–146, 2024.
- [9] M. Adzkie, F. Arland, and A. W. Setiawan, "Deteksi Pneumonia Menggunakan Citra Sinar-X Paru Berbasis Residual Network Detection Of Pneumonia Using Residual Network Bases Lung X-Ray Image," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 9, no. 2, pp. 373–380, 2022, doi: 10.25126/jtiik.202295626.
- [10] A. Z. Johannes, M. Bukit, A. D. D. Betan, and J. Tarigan, "Google Teachable Machine: Pemanfaatan Machine Learning Berbasis Cnn Untuk Identifikasi Cepat Batuan Mineral Kalsit, Kuarsa Dan Magnetit," *Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 12, no. 2, pp. 102–109, Oct. 2024, doi: 10.35508/jicon.v12i2.15170.
- [11] M. Abdul Syawal Laan, E. A. U Malahina Teknik Informatika Sekolah Tinggi Manajemen Informatika Komputer Uyelindo Kupang Jl Perintis Kemerdekaan I, K. Putih, K. Oebobo, K. Kupang, and N. Tenggara Tim, "Penerapan Machine Learning Menggunakan Teachable Machine Untuk Mendeteksi Jenis Tanah Berbasis Citra Digital," 2025.
- [12] T. Singh, D. C. Jhariya, M. Sahu, P. Dewangan, and P. Y. Dhekne, "Classifying Minerals using Deep Learning Algorithms," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics, 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1032/1/012046.
- [13] D. Immanuel Salintohe, I. Alwiah Musdar, T. Informatika, and S. Kharisma Makassar, "Implementasi Machine Learning Untuk Mengidentifikasi Tanaman Hias Pada Aplikasi Tierra," *JTRISTE*, vol. 9, no. 1, pp. 1–15, 2022.
- [14] A. Ghofur, E. Itsnainy Agustin, F. Qori Aina, L. Muhfidha, and T. Alawiyah, "Klasifikasi Emosi Wajah Manusia (Happy, Sad, Angry, Neutral) dari Citra Menggunakan Google Teachable Machine," vol. 13, no. 1, pp. 14–23, 2025.
- [15] E. A. Nugroho, J. D. Setiawan, M. Munadi, and A. Rustiyanti, "Penerapan Teachable Machine Dan Raspberry Pi Pada Sistem Klasifikasi Citra Untuk Inspeksi Cacat Kain," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 77–86, Feb. 2025, doi: 10.25126/jtiik.2025128932.
- [16] Q. H. Nguyen and X. H. BUI, "Teachable Machine Model Combining Machine Learning and Deep Learning for Disease Diagnosis," in *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2025, pp. 29–42. doi: 10.1007/978-981-96-3244-2_3.
- [17] S. Yadav, S. A. M. Rizvi, and P. Agarwal, "Advancing Pulmonary Infection Diagnosis: A Comprehensive Review of Deep Learning Approaches in Radiological Data Analysis," Aug. 01, 2025, *Springer Science and Business Media B.V.* doi: 10.1007/s11831-025-10253-4.