Model deteksi TB dengan menggunakan data citra rontgen dada

Thoriq Al Mahdi, Nuning Nuraini, Arrofiatuz Zahra, Annisa Aditsania, Prama Putra
Matematika -FMIPA ITB

Riset Unggulan ITB (RU 18)

Latar Belakang

Diagnosis citra medis manual sering memiliki variabilitas tinggi, sehingga model hibrida yang menggabungkan ekstraksi fitur *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan pengklasifikasi *Support Vector Machine* (SVM) banyak dikembangkan untuk meningkatkan akurasi klinis. Namun, teknik penggabungan ini menghasilkan fitur berdimensi tinggi, yang menjadi hambatan besar karena data medis di dunia nyata sangat langka sehingga menciptakan kondisi *High-Dimensional, Low-Sample Size* (HDLSS).

Dalam kondisi HDLSS, SVM konvensional sangat rentan terhadap fenomena *data piling* yang merusak stabilitas geometris margin keputusan. Meskipun algoritma *Distance-Weighted Discrimination* (DWD) mampu mengatasi *data piling*, komputasinya menjadi sangat lambat jika diterapkan langsung pada ruang fitur berdimensi tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan kerangka kerja CNN-MLP-DWD yang memanfaatkan *Multi-Layer Perceptron* (MLP) sebagai jembatan untuk mengompresi dimensi fitur secara progresif sehingga mempercepat komputasi DWD

Keyword: data citra, CNN-MLP-DWD, tuberkulosis

Tujuan

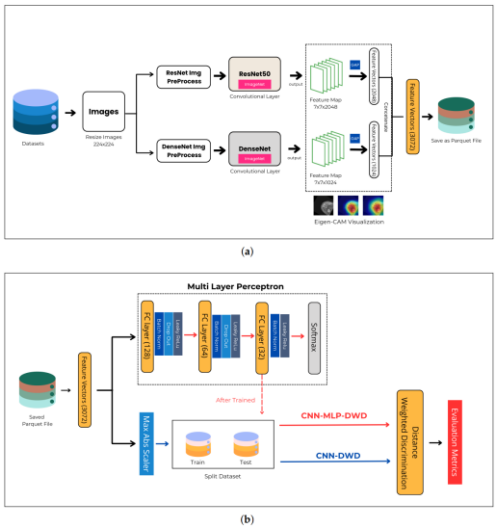
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kerangka kerja klasifikasi citra medis yang tangguh terhadap kondisi HDLSS serta mampu mencegah kerentanan *data piling* secara efisien. Sebagai solusi, kerangka kerja ini mengekstraksi fitur menggunakan arsitektur CNN pra-latih yang dibekukan (*frozen*) untuk mencegah *overfitting*. Selanjutnya, *Multi-Layer Perceptron* (MLP) diintegrasikan sebagai *bottleneck* untuk mengompresi dimensi fitur yang masif secara progresif, sehingga mampu mempercepat komputasi pengklasifikasi *Distance-Weighted Discrimination* (DWD). Terakhir, algoritma optimasi DWD ini diperluas menjadi kerangka kerja multikelas agar mampu menyelesaikan masalah diagnostik medis yang kompleks.

Metode

Penelitian ini menggunakan tiga kategori dataset citra medis publik yang bervariasi. Dataset tersebut terdiri dari 1.707 citra USG payudara (dengan distribusi kelas benign, malignant, dan normal), 7.632 citra mamografi payudara (benign dan malignant), serta 13.604 citra rontgen dada (tuberkulosis, pneumonia, dan normal).

Arsitektur model yang diusulkan ditunjukkan oleh Gambar 1. Tahapan klasifikasi dimulai dengan mengekstrak fitur visual dari citra menggunakan arsitektur ResNet50 dan DenseNet121 yang dibekukan, lalu menggabungkannya menjadi vektor berdimensi 3.072. Vektor gabungan ini kemudian dikompresi melalui jaringan *bottleneck* MLP. Terakhir, representasi laten berdimensi rendah tersebut diklasifikasikan menggunakan algoritma *DWD* untuk menghasilkan prediksi diagnostik akhir.

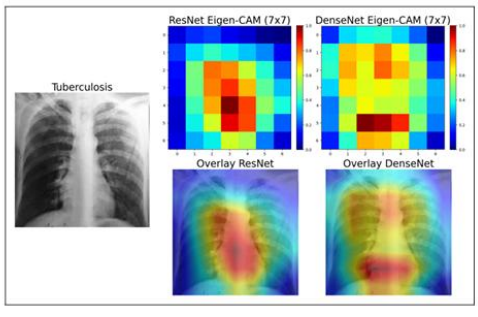
Setelah peta fitur spasial dipadatkan menggunakan *Global Average Pooling* (GAP) dan digabungkan, jaringan *bottleneck* MLP berstruktur piramida geometris (128, 64, dan 32 neuron) diterapkan untuk melakukan kompresi non-linear. Jaringan MLP ini juga dilengkapi dengan mekanisme *Batch Normalization* dan *Dropout* untuk menstabilkan pelatihan dan mencegah *overfitting* selama proses pelatihan.



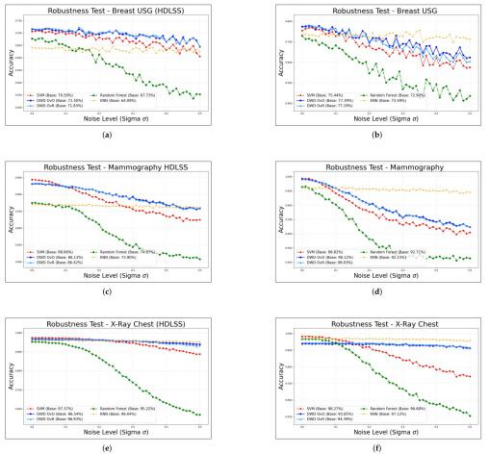
*Gambar 1. Arsitektur model CNN-MLP-DWD: (**a**) tahap ekstraksi fitur; (**b**) tahap klasifikasi.*

Pada tahap klasifikasi akhir, pengklasifikasi DWD diperluas menjadi kerangka kerja multikelas dengan menerapkan strategi dekomposisi *One-vs-One* (OvO) dan *One-vs-Rest* (OvR). Untuk mengevaluasi kinerja diagnostic di tengah ketidakseimbangan data, penelitian ini menggunakan metrik evaluasi rata-rata makro (akurasi global, *macro-precision*, *macro-recall*, *macro-F1-score*, dan *macro-AUC*). Selanjutnya, ketahanan struktural model terhadap variasi lingkungan klinis dunia nyata diuji menggunakan metode *Gaussian noise perturbation*. Pada tahap ini, *noise* sintetik dengan berbagai tingkat intensitas disuntikkan ke dalam citra uji untuk mengukur dan membuktikan stabilitas margin keputusan model dibandingkan dengan pengklasifikasi konvensional.

Hasil



Gambar 2. Chest X-Ray (Tuberculosis)



Gambar 3. Evaluasi pengujian dengan noise.

Pada pengujian awal tanpa noise, akurasi CNN-DWD sangat kompetitif dibandingkan model klasik seperti SVM. Namun, keunggulan struktural DWD baru terlihat jelas saat citra diuji menggunakan Gaussian noise. Ketika intensitas noise meningkat, akurasi SVM dan Random Forest (RF) mengalami degradasi, sedangkan DWD tetap stabil dengan penurunan akurasi yang landai.

Di sisi lain, penerapan DWD secara langsung pada ruang fitur berdimensi tinggi memakan waktu komputasi yang sangat lambat, seperti pada dataset *Chest X-Ray* yang mencapai 1.519 detik hingga 2.275 detik. Untuk mengatasi hambatan tersebut, jaringan MLP diintegrasikan sebagai *bottleneck*. Berikut adalah tabel hasilnya:

Dataset	Acc (%)	Prec (%)	Rec (%)	F1 (%)	AUC	Time DWD (s)
Breast USG	86.55	88.07	82.42	84.89	0.9655	5.49
Breast Mammography	92.53	91.73	91.31	91.52	0.9765	3.72
Chest X-Ray	97.86	97.95	97.77	97.84	0.9991	16.60

Tabel 1. Hasil evaluasi model CNN-MLP-DWD.

Integrasi *bottleneck* MLP terbukti sangat efektif dalam mereduksi hambatan komputasi secara drastis. Pada dataset *Chest X-Ray*, waktu eksekusi DWD yang awalnya memakan hingga 2.275 detik berhasil dipangkas menjadi hanya 16,60 detik, sehingga menghasilkan akselerasi komputasi hingga 137 kali lipat dengan tetap mempertahankan performa diagnostik yang sangat tinggi.

Luaran & Keberlanjutan Progam

Luaran :

Mahdi TA, Nuraini N, Hafizhah TA, Sihombing AF, Rahim R, Pratami IA, Nurul Hayyu DD. A Hybrid CNN-MLP-DWD Framework for Robust Medical Image Classification Under High-Dimensional Low-Sample Size Conditions. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. 2026; 8(7):215. https://doi.org/10.3390/make8070215 (Scopus, Q1)

Pengembangan ke depan akan difokuskan pada upaya pengumpulan dan pelatihan model menggunakan variasi dataset citra medis tambahan untuk memperluas kemampuan dan keandalan deteksi penyakit di dunia nyata.

Penelitian ini didukung oleh Program Penelitian ITB 2026 di bawah Skema Penelitian Unggulan ITB melalui Direktorat Penelitian dan Inovasi, Institut Teknologi Bandung (ID Proyek: FMIPA.PN-6-210-2026, nomor kontrak 2235/IT1.B07.1/TA.00/2026)