

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker paru-paru merupakan salah satu jenis kanker dengan angka kematian tertinggi secara global dan terdiri dari berbagai stadium dan subtype histologis, seperti *adenokarsinoma*, *squamous cell carcinoma*, dan *small cell lung cancer*. Diagnosis yang tidak hanya mengidentifikasi keberadaan kanker, tetapi juga menentukan stadium serta subtype, sangat penting untuk pengambilan keputusan terapi yang tepat. Berdasarkan data dari *World Health Organization* (WHO), kanker paru-paru menyumbang sekitar 1,8 juta kematian setiap tahunnya, menjadikannya penyebab utama kematian akibat kanker di seluruh dunia (Akbari et al., 2024). Tingginya angka kematian ini disebabkan oleh berbagai faktor, salah satunya adalah keterlambatan diagnosis. Oleh karena itu, deteksi dini menjadi salah satu kunci penting dalam menurunkan tingkat kematian akibat kanker paru-paru. Dalam praktik klinis, salah satu metode utama yang digunakan untuk diagnosis adalah analisis citra histopatologi. Citra ini dihasilkan dari potongan jaringan paru-paru pasien yang diwarnai dan diamati di bawah mikroskop, yang memungkinkan identifikasi struktur seluler dan morfologi jaringan secara rinci (Katar et al., 2024).

Meskipun citra histopatologi memberikan informasi yang kaya dan sangat berguna, prosesnya sangat bergantung pada keahlian seorang patolog. Proses manual citra histopatologi dapat memakan waktu yang cukup lama dan rawan kesalahan atau variasi hasil antara satu patolog dengan yang lain. Tantangan ini semakin besar seiring dengan meningkatnya volume data medis akibat digitalisasi rekam medis dan peningkatan jumlah pemeriksaan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, para peneliti mulai memanfaatkan teknologi, khususnya teknik pembelajaran mendalam (*deep learning*), untuk mengembangkan sistem diagnosis otomatis yang cepat dan akurat. (Katar et al., 2024)

Dalam beberapa tahun terakhir, arsitektur deep learning berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) telah menjadi metode dominan dalam klasifikasi citra medis.

CNN bekerja dengan mengekstrak fitur lokal dari gambar menggunakan lapisan konvolusi dan pooling. Namun, CNN memiliki kelemahan dalam menangkap hubungan spasial global antar elemen gambar karena operasi konvolusi yang bersifat lokal. Hal ini menjadi tantangan ketika menganalisis citra histopatologi yang memiliki pola kompleks dengan konteks global yang penting (Alsulami et al., 2024). Sebagai solusi dari keterbatasan ini, *Swin Transformer* dikembangkan sebagai pendekatan baru yang menerapkan prinsip-prinsip Transformer dari bidang *Natural Language Processing* (NLP) ke dalam pengolahan citra.

Swin Transformer bekerja dengan membagi citra input menjadi beberapa patch berukuran kecil dan kemudian memproses patch tersebut dalam window lokal melalui *mekanisme windowed multi-head self-attention*. Model ini menggunakan strategi shifted window agar patch dari window yang berbeda dapat saling berinteraksi secara bertahap, sehingga informasi spasial global tetap dapat dipelajari secara efisien. Pendekatan ini memungkinkan *Swin Transformer* mengekstraksi fitur lokal dan global secara hierarkis, yang terbukti efektif dalam menganalisis struktur jaringan kompleks pada citra histopatologi (Li et al., 2025). Dalam konteks citra medis, kemampuan ini sangat penting karena jaringan kanker paru memiliki karakteristik yang kompleks dan bervariasi di berbagai area citra. Swin Transformer dapat menangkap pola pada tingkat sel hingga pola arsitektur jaringan secara keseluruhan, menjadikannya metode yang ideal untuk meningkatkan akurasi klasifikasi citra histopatologi kanker paru-paru.

Penelitian-penelitian terbaru menunjukkan bahwa arsitektur Swin Transformer terus dikembangkan untuk meningkatkan akurasi dan generalisasi pada citra medis. Misalnya, (Li et al., 2025) mengusulkan model Swin-Dual Fusion yang mengintegrasikan citra CT dan histopatologi paru untuk memprediksi metastasis tulang, dan berhasil mencapai AUC 0,966, melampaui berbagai model berbasis CNN. Sementara itu, (Kola & Rambha, 2025) melalui prosiding ICC-ROBINS 2025 memperkenalkan penerapan *Swin Transformer* secara langsung untuk deteksi dini dan klasifikasi kanker paru pada citra histopatologi, yang menunjukkan peningkatan akurasi signifikan dibandingkan *Vision Transformer* (ViT) murni maupun model CNN.

Berdasarkan pemetaan literatur pada penelitian terkait, penelitian di Indonesia yang secara khusus mengevaluasi *Swin Transformer* untuk klasifikasi citra histopatologi kanker paru-paru dengan external validation lintas dataset masih terbatas. Oleh karena itu, klaim kontribusi penelitian ini difokuskan pada aspek evaluasi Lintas Dataset generalisasi, bukan hanya pada pencapaian akurasi internal.

Untuk memperkuat research gap, penelitian terdahulu dipetakan berdasarkan dataset, model, metrik, keberadaan external validation, dan keterbatasannya. Pemetaan ini menunjukkan bahwa sebagian besar studi mencapai akurasi tinggi pada LC25000, tetapi belum selalu menguji model pada dataset eksternal yang berbeda sumber.

Tabel 1. 1 Penelitian

Peneliti an	Model	Dataset	Hasil utama	External validation	Keterbatas an
Ji et al. (2024)	Swin Transformer	LC25000	Accuracy 99,15%	Tidak	Fokus in-domain; belum menguji domain shift
Alsulami et al. (2024)	Swin Transformer + Ensemble	LC25000	Accuracy 98,9%	Tidak	Performa tinggi namun masih pada dataset yang sama
Akbari et al. (2024)	Vision Transformer	LC25000/Histopatologi	Accuracy sekitar 98,8-99,09%	Tidak	ViT membutuhkan data besar dan komputasi tinggi

Takahashi et al. (2024)	CNN vs ViT Review	Citra medis	Menekankan evaluasi lintas domain	Ya	Bukan eksperimen khusus kanker paru histopatologi
Diosdado et al. (2024)	ResNet/MIL baseline	LungHist700	Accuracy 81-92%	Patient-wise split	Dataset cocok sebagai uji eksternal
Penelitian ini	ResNet50 dan Swin Transformer	LC25000 + LungHist700	Internal tinggi 99,99 % eksternal menurun	Ya	Mengukur perbedaan domain antara dataset augmentasi dan klinis

Isu generalisasi model juga menjadi tantangan nyata dalam pengembangan sistem diagnosis berbasis *deep learning*. Banyak model dilatih dan diuji hanya pada satu dataset, sehingga belum dapat dipastikan kinerjanya ketika diterapkan pada data yang berasal dari domain atau distribusi berbeda. Oleh karena itu, diperlukan studi yang tidak hanya fokus pada akurasi dalam satu dataset, tetapi juga menguji daya tahan model terhadap variasi data dari luar.

Dengan demikian, research gap penelitian ini terletak pada kebutuhan evaluasi yang lebih dalam: model tidak hanya dibandingkan pada dataset internal, tetapi juga diuji pada dataset eksternal untuk melihat robustness terhadap domain shift. Pendekatan ini penting karena model dengan akurasi internal sangat tinggi belum tentu siap digunakan pada data klinis dari rumah sakit, perangkat, atau prosedur pewarnaan yang berbeda.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi arsitektur *Swin Transformer* sebagai model dalam klasifikasi kanker paru-paru berdasarkan citra histopatologi dengan generalisasi model. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengembangan sistem klasifikasi untuk mendukung proses diagnosis kanker paru-paru di lingkungan klinis.

1.2 Perumusan Masalah

1.2.1 Permasalahan

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah kebutuhan sistem klasifikasi citra histopatologi kanker paru-paru yang tidak hanya akurat, tetapi juga mampu beradaptasi terhadap variasi data dari sumber yang berbeda (generalisasi model). Metode berbasis Convolutional Neural Network (CNN) memang telah banyak digunakan, namun masih terbatas dalam menangkap hubungan spasial global antarstruktur jaringan karena fokusnya hanya pada pola lokal (Hasan, Hossain, et al., 2023). Sementara itu, Vision Transformer (ViT) yang muncul sebagai pendekatan baru untuk mengatasi keterbatasan CNN juga memiliki kekurangan, yaitu membutuhkan dataset berukuran besar dan sumber daya komputasi tinggi agar dapat berfungsi optimal, sehingga kurang efisien untuk data medis dengan jumlah terbatas (Dosovitskiy et al., 2020).

Sebagai solusi, Swin Transformer dikembangkan dengan mekanisme shifted window attention yang mampu mempelajari fitur lokal dan global secara hierarkis (Liu et al., 2021). Penelitian terbaru menunjukkan keunggulan Swin dibanding CNN dan ViT murni, seperti studi (Li et al., 2025) yang mencapai AUC 0,966 pada prediksi metastasis tulang berbasis citra CT dan histopatologi, serta penelitian (Kola & Rambha, 2025) yang berhasil meningkatkan akurasi klasifikasi kanker paru pada citra histopatologi.

Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan diri pada dua permasalahan utama pertama bagaimana mengimplementasikan Swin Transformer secara efektif untuk klasifikasi citra histopatologi kanker paru-paru, dan kedua bagaimana mengevaluasi kemampuan generalisasi model agar tetap akurat dan stabil pada dataset yang berbeda.

1.2.2 Metode Usulan

Penelitian ini mengusulkan penggunaan arsitektur *Swin Transformer* sebagai model klasifikasi utama untuk mendeteksi tiga kelas utama kanker paru-paru berdasarkan citra histopatologi digital. Model akan dilatih menggunakan dataset LC25000, dan diuji tidak hanya pada data yang serupa, tetapi juga pada dataset eksternal (LungHist700) untuk mengukur generalisasi model.

1.2.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah dijelaskan, maka pertanyaan penelitian dalam studi ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana performa antara Swin Transformer dan ResNet50 pada tugas Klasifikasi dataset LC25000
2. Bagaimana kemampuan generalisasi model terbaik dari pengujian internal (antara ResNet50 dan Swin Transformer) ketika diuji pada dataset eksternal LungHist700 ?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

1. Melatih, membandingkan, dan mengevaluasi antara model Swin Transformer dengan CNN (ResNet50) untuk Klasifikasi pada dataset LC25000
2. Menguji kemampuan generalisasi model Swin Transformer serta ResNet50 terhadap domain shift melalui pengujian eksternal pada dataset LungHist700 tanpa pelatihan ulang.

1.3.2 Manfaat Penelitian

1.3.2.1 Manfaat Ilimiah

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pengolahan citra medis dan pembelajaran mendalam (*deep learning*), khususnya dalam penerapan Swin Transformer untuk klasifikasi citra histopatologi kanker paru-paru.

2. Menambah wawasan akademik mengenai kemampuan generalisasi model Transformer, khususnya dalam konteks dataset medis dengan distribusi dan karakteristik yang berbeda.

1.3.2.2 Manfaat Praktis

1. Menyediakan model klasifikasi otomatis yang berpotensi membantu tenaga medis dan peneliti patologi dalam proses identifikasi kanker paru-paru secara lebih cepat dan objektif.
2. Menjadi referensi pengembangan sistem pendukung keputusan medis berbasis *deep learning* di institusi kesehatan atau laboratorium patologi digital.

1.4 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada klasifikasi tiga kelas utama kanker paru-paru: adenokarsinoma, squamous cell carcinoma, dan jaringan normal.
2. Dataset utama yang digunakan untuk pelatihan adalah LC25000 sejumlah 15.000 dataset, dengan pengujian generalisasi menggunakan dataset eksternal LungHist700 sejumlah 691 dataset.
3. Hyperparameter ditetapkan secara konsisten untuk menjaga keadilan perbandingan model. Optimizer AdamW dipilih karena sesuai untuk model berbasis Transformer dan efektif mengontrol regularisasi bobot melalui weight decay. Learning rate $1e-4$ digunakan sebagai nilai awal yang umum pada transfer learning agar pembaruan bobot stabil. Batch size 16 dipilih dengan mempertimbangkan keterbatasan memori GPU dan ukuran input 224×224 piksel. Jumlah epoch 10-15 digunakan bersama early stopping untuk mencegah overfitting, sedangkan Categorical Cross-Entropy digunakan karena tugas penelitian merupakan klasifikasi multikelas.
4. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik klasifikasi seperti accuracy, precision, recall, dan F1-score dan AUC.
5. Evaluasi hanya berdasarkan analisis visual serta analisis literatur, dan tidak melibatkan konfirmasi ahli patologi.

1.5 Sistematika Penulisan Skripsi

Skripsi ini terdiri atas lima bab utama sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, perumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan, manfaat, batasan, serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Berisi pemaparan mengenai teori-teori yang mendukung penelitian, termasuk konsep kanker paru-paru, citra histopatologi, serta metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Swin Transformer*, disertai hasil penelitian terdahulu dan analisis kesenjangan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tahapan penelitian yang meliputi pengumpulan data, preprocessing, augmentasi, pembagian dataset, implementasi model *Swin Transformer*, serta evaluasi performa dan generalisasi model menggunakan metrik seperti accuracy, precision, recall, F1-score, dan AUC.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil eksperimen, perbandingan performa ResNet50 dan Swin Transformer, hasil pengujian generalisasi pada dataset eksternal LungHist700, analisis confusion matrix, domain shift, serta interpretasi hasil penelitian..

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, terutama terkait peningkatan generalisasi model pada dataset eksternal..