

PERAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) DALAM MENINGKATKAN AKURASI DIAGNOSIS SITOLOGI NON- GINEKOLOGI: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Christian Pairingan¹, Daniel Larry Ferdyan Setiawan Parhusip²

01091240036@student.uph.edu¹, 01091240029@student.uph.edu²

Universitas Pelita Harapan

ABSTRAK

Sitologi non-ginekologi memegang peranan penting dalam skrining dan diagnosis berbagai keganasan sel di luar traktus genitalia wanita, namun interpretasinya masih sangat bergantung pada penilaian subjektif ahli patologi sehingga rentan terhadap variabilitas antar-pemeriksa. Kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), khususnya yang berbasis pembelajaran mendalam (deep learning) sudah berkembang pesat sebagai alat bantu diagnostik yang berpotensi meningkatkan akurasi, konsistensi, dan efisiensi pemeriksaan sitologi. Penelitian ini bertujuan merangkum dan mengevaluasi bukti ilmiah mengenai peran AI dalam meningkatkan akurasi diagnosis sitologi non-ginekologi melalui pendekatan Tinjauan Pustaka (SLR). Pencarian literatur dilakukan pada basis data Google Scholar dan PubMed serta pencarian manual mengikuti kerangka kerja PRISMA 2020, dengan rentang publikasi tahun 2016–2026. Setelah proses skrining berjenjang berdasarkan judul, abstrak, dan teks lengkap, diperoleh dua belas studi yang memenuhi kriteria inklusi, mencakup pemeriksaan sitologi tiroid, kandung kemih, paru-paru, dan pankreas. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa model AI berbasis convolutional neural network (CNN) dan arsitektur turunannya mampu mencapai nilai sensitivitas, spesifisitas, dan akurasi yang tinggi, bahkan pada beberapa studi setara dengan penilaian ahli patologi berpengalaman. Meskipun demikian, keterbatasan seperti ukuran sampel yang kecil, desain retrospektif, dan minimnya standarisasi masih perlu diatasi sebelum penerapan AI dapat dilakukan secara luas dalam praktik klinis rutin.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan, Pembelajaran Mendalam, Sitologi Non-Ginekologi, Akurasi Diagnosis, Tinjauan Pustaka.

ABSTRACT

Non-gynecological cytology plays an important role in the screening and diagnosis of various malignancies outside the female genital tract, yet its interpretation remains highly dependent on the subjective assessment of cytopathologists, making it prone to inter-observer variability. Artificial intelligence (AI), particularly deep learning-based approaches, has developed rapidly as a diagnostic aid with the potential to improve the accuracy, consistency, and efficiency of cytological examination. This study aims to summarize and evaluate the scientific evidence regarding the role of AI in improving the diagnostic accuracy of non-gynecological cytology through a Systematic Literature Review (SLR) approach. The literature search was conducted on the Google Scholar and PubMed databases as well as manual searching, following the PRISMA 2020 framework, covering publications from 2016–2026. After a staged screening process based on title, abstract, and full text, twelve studies met the inclusion criteria, covering thyroid, urinary bladder, lung, and pancreatic cytology. The review results show that AI models based on convolutional neural networks (CNNs) and their derivative architectures achieved high sensitivity, specificity, and accuracy, in several studies comparable to the assessment of experienced cytopathologists. Nevertheless, limitations such as small sample sizes, retrospective designs, and a lack of standardization still need to be addressed before AI can be widely implemented in routine clinical practice.

Keywords: Artificial Intelligence, Deep Learning, Non-Gynecological Cytology; Diagnostic Accuracy; Systematic Literature Review.

PENDAHULUAN

Sitologi merupakan cabang ilmu patologi yang mempelajari sel-sel tubuh untuk mendeteksi kelainan, keganasan, pemeriksaan sediaan aspirasi jarum halus (Fine Needle Aspiration Cytology/FNAC), sediaan urin, dan cairan tubuh maupun bilasan bronkoalveolar. Berbeda dengan sitologi ginekologi yang telah memiliki sistem skrining terstandarisasi seperti Pap smear, sitologi non-ginekologi mencakup berbagai organ seperti tiroid, kandung kemih, paru-paru, dan pankreas dengan variasi morfologi sel yang jauh lebih heterogen, sehingga interpretasinya menuntut keahlian tinggi dan tetap rentan terhadap variabilitas antar-pemeriksaan Elliott (Range et al., 2020).

Interpretasi sitologi masih sangat bergantung pada penilaian subjektif dari ahli patologi anatomi, sehingga hasil diagnosis dapat berbeda antara pemeriksaan maupun institusi. Kondisi ini diperberat oleh beban kerja laboratorium patologi anatomi yang terus meningkat seiring bertambahnya jumlah spesimen yang harus diperiksa dengan jumlah tenaga ahli patologi anatomi terlatih yang relatif terbatas. Berbagai tantangan tersebut mendorong berkembangnya banyak penelitian mengenai penerapan kecerdasan buatan (AI), khususnya pembelajaran mendalam (deep learning) sebagai alat bantu diagnostik yang diharapkan mampu membantu dan meningkatkan konsistensi, kecepatan, dan akurasi interpretasi sitologi.

Menurut beberapa tinjauan terbaru yang sudah banyak terhadap berbagai penelitian dalam menegaskan besarnya potensi AI dalam sitopatologi. Menurut VandeHaar et al. (2025) menekankan bahwa AI dapat meningkatkan akurasi diagnostik dan mengurangi variabilitas antar-pemeriksa, tetapi implementasinya masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan data berlabel berkualitas tinggi, keragaman teknik preparasi dan pewarnaan antar laboratorium, serta kebutuhan validasi klinis yang ketat sebelum digunakan secara rutin. Salah satu penelitian yang meninjau dua puluh satu artikel ulasan juga melaporkan bahwa jumlah publikasi mengenai AI dalam sitopatologi meningkat tajam dalam lima tahun terakhir, dengan rekomendasi utama berupa validasi lebih lanjut, standarisasi protokol, serta perhatian terhadap aspek etika dan privasi data (Giansanti, 2024). Hal ini sejalan dengan Kim et al. (2024) yang mendukung perkembangan AI dalam memberikan rekomendasi praktis untuk mengintegrasikan AI ke dalam alur kerja sitologi digital guna mendukung penerapannya secara klinis.

Namun sebagian besar penelitian AI dalam sitopatologi masih terkonsentrasi pada sitologi serviks atau ginekologi (Valles-Coral et al., 2026). Masih banyak yang mengidentifikasi puluhan model deep learning untuk skrining sitologi serviks, sementara penerapan AI pada sitologi non-ginekologi yang mencakup organ dengan morfologi jauh lebih beragam seperti tiroid, kandung kemih, paru-paru, dan pankreas relatif belum banyak dirangkum dan dikembangkan secara sistematis (Valles-Coral et al., 2026). Kesenjangan inilah yang mendasari perlunya sebuah Systematic Literature Review yang berfokus khusus pada peran AI dalam pemeriksaan sitologi non-ginekologi untuk mengembangkan berbagai penelitian untuk ditelusuri lebih terkait potensi AI dalam membantu kinerja laboratorium khususnya laboratorium patologi anatomi (PA).

Melalui permasalahan dan uraian ini, maka penelitian ini bertujuan untuk merangkum dan mengevaluasi secara sistematis bukti ilmiah mengenai peran kecerdasan buatan dari berbagai negara dalam mengembangkannya, khususnya pembelajaran mendalam, dalam meningkatkan akurasi diagnosis sitologi non-ginekologi, meliputi jenis organ yang diteliti, arsitektur model yang digunakan, karakteristik dataset, serta capaian kinerja diagnostik (sensitivitas, spesifisitas, akurasi, dan AUC) yang dilaporkan pada literatur tahun 2016–2026.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam pembuatan penelitian ini yaitu dengan melakukan systematic review (SLR) yang disusun mengikuti pedoman Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 (Page et al., 2021). Tujuannya untuk membantu proses penyusunan dengan memberikan kerangka kerja transparan mulai dari identifikasi, penyaringan, kelayakan, hingga penentuan studi yang disertakan dalam tinjauan. Strategi pencarian artikel yang diperlukan dengan menggunakan basis data elektronik yaitu Google Scholar dan PubMed, serta dengan pencarian manual (hand-searching) pada daftar rujukan artikel yang relevan dengan kriteria jurnal yang dibutuhkan dalam rentang waktu 10 tahun dari 2016-2026. Kata kunci yang diperlukan disusun berdasarkan kerangka PICOS, meliputi populasi (spesimen sitologi non-ginekologi seperti tiroid, kandung kemih, paru-paru, dan pankreas), intervensi (kecerdasan buatan/artificial intelligence, pembelajaran mesin/machine learning, pembelajaran mendalam/deep learning), pembandingan (penilaian konvensional oleh ahli patologi), luaran (akurasi, sensitivitas, spesifisitas, dan AUC diagnostik), serta desain studi (studi diagnostik retrospektif maupun prospektif). Kata kunci dan Boolean string (AND dan OR) yang didapat akan digunakan dalam pencarian jurnal. Kata kunci yang digunakan meliputi “Artificial Intelligence”, “Machine Learning”, “Fine Needle Aspiration Biopsy”, “Fine Needle Aspiration Cytology”, “Nongynecologic Cytology”, “Cytopathology”, “Thyroid cytology”, “Urine cytology”, “Digital pathology”, dan “Body fluid cytology”.

Kriteria Inklusi yang ditetapkan meliputi: (1) artikel yang digunakan harus penelitian asli yang menerapkan AI sebagai pembelajaran mendalam pada pemeriksaan sediaan sitologi non-ginekologi; (2) Memiliki teks yang lengkap; (3) melaporkan luaran kinerja diagnostik secara kuantitatif; (4) jurnalnya dipublikasikan dalam rentang tahun 2016-2026. Kriteria eksklusi terdiri dari tidak dapat diakses secara penuh, tidak memuat kata kunci AI, sitologi non-ginekologi, dan FNAC, bersifat duplikat, serta berupa tinjauan pustaka tanpa data primer.

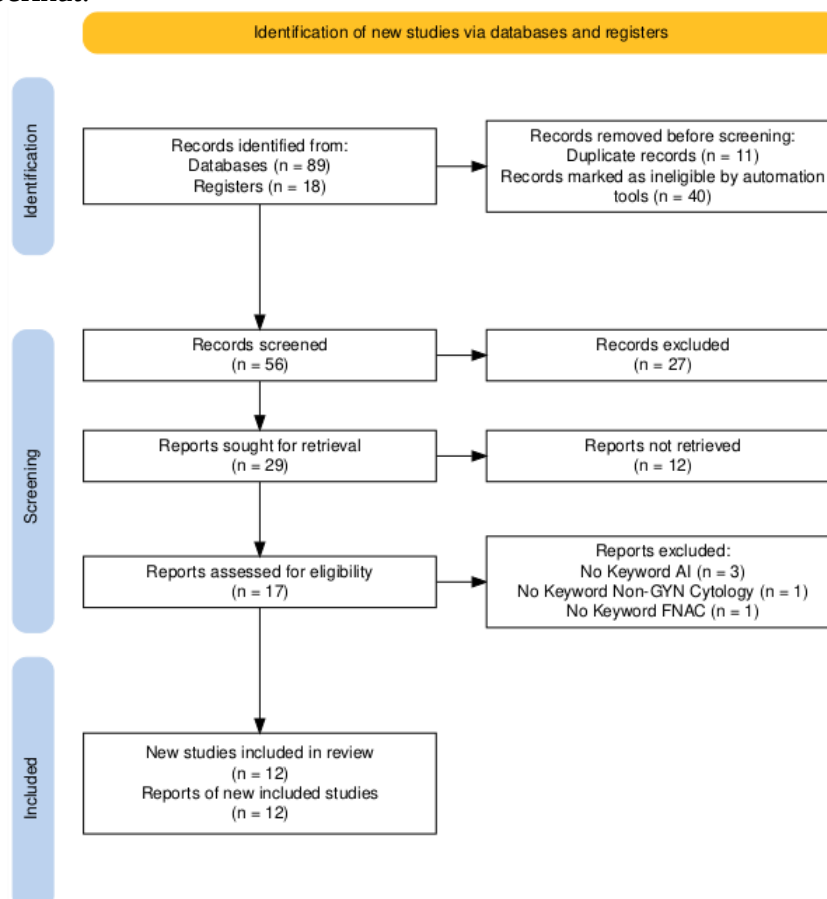
Proses pencarian artikel terdapat 3 tahapan penting dalam menyeleksi topik yang terkait yaitu identification, screening, dan include. Setelah mendapatkan beberapa jurnal yang terkait, maka masuk identification dengan meninjau artikel yang memiliki duplikat atau file yang sama secara manual. Selanjutnya dilakukan penyaringan dengan mencoba akses masuk website atau file artikel apakah bisa dibuka atau dibaca, jika artikel tidak bisa diakses maka jurnalnya tidak akan digunakan. Setelah bisa diakses jurnalnya, maka dilakukan peninjauan judul dan abstrak dari artikel yang didapatkan. Jika tidak relevan, maka jurnal tersebut tidak akan digunakan. Jurnal tersebut akan dibaca dan ditinjau secara menyeluruh dari isinya, jika jurnal tidak memiliki teks yang tidak lengkap maka jurnal tersebut tidak akan digunakan. Penentuan terakhir akan dilihat jurnal yang terkait memiliki kata kunci atau pembahasan mengenai “Artificial Intelligence”, “Nongynecologic Cytology”, dan “Fine Needle Aspiration Cytology” sebagai salah satu kriteria utama jurnal yang digunakan dalam pembahasan, jika tidak memiliki pembahasan dari ketika kata kunci tersebut maka jurnalnya tidak digunakan.

Setiap artikel yang memenuhi kriteria akan dilakukan ekstraksi data meliputi nama peneliti dan tahun publikasi, negara asal penelitian, organ yang diperiksa, jenis pemeriksaan, metode pewarnaan, karakteristik dataset, resolusi citra (pixel level), metode sampling, arsitektur model dasar (base model) yang digunakan, serta hasil kinerja diagnostik yang dilaporkan. Data yang telah diekstraksi kemudian disintesis secara naratif untuk menggambarkan pola dan kecenderungan kinerja AI pada masing-masing organ.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pencarian Dan Penyaringan Literatur

Melalui penelusuran literatur berbasis data elektronik terdapat 89 jurnal yang terekam dengan Google Scholar menghasilkan 69 jurnal, dan PubMed menghasilkan 20 jurnal. Selain itu ditambah 18 jurnal yang terekam melalui pencarian manual (hand-searching), sehingga didapatkan total 107 jurnal dengan rentan tahun 2016-2026 pada awal tahap. Sebelum memasuki tahapan penyaringan, sebanyak 11 jurnal dihapus karena terindikasi duplikat yang ditellah secara manual, dan 40 jurnal dinyatakan tidak memenuhi ketentuan karena tidak bisa diakses, sehingga tersisa 56 jurnal yang masuk tahap penyaringan. Pada tahap penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, terdapat 27 jurnal dieksklusi karena dinilai tidak relevan dengan topik penelitian, sehingga 29 laporan dicari untuk pengambilan teks lengkap. Dari jumlah tersebut, terdapat 12 laporan tidak berhasil diperoleh karena tidak memiliki akses untuk mendapatkan bentuk teks lengkap, sehingga tersisa 17 artikel yang dinilai kelayakannya secara menyeluruh. Terdapat 5 jurnal yang tidak sesuai kriteria karena tidak memenuhi kata kunci yang telah ditetapkan yaitu tidak memiliki kata kunci “kecerdasan buatan/AI” sebanyak 3 jurnal, kata kunci “Non-GYN Cytology” sebanyak 1 jurnal, dan kata kunci “FNAC” sebanyak 1 jurnal. Melalui seluruh tahapan skrining sesuai Alur PRISMA 2020, diperoleh 12 jurnal yang memenuhi seluruh kriteria inklusi dan digunakan sebagai dasar sintesis pada penelitian ini, sebagaimana divisualisasikan pada flow diagram berikut:



Gambar 1. Pencarian Jurnal Berdasarkan Flow Diagram PRISMA 2020

Karakteristik dari kedua belas jurnal yang digunakan tersebut akan dirangkum dan disajikan pada tabel data literatur review yang memuat informasi mengenai peneliti/penulis, negara asal penelitian, organ yang diperiksa, jenis pemeriksaan, metode pewarnaan,

karakteristik dataset, resolusi citra (pixel level), metode sampling, arsitektur model dasar (base model), serta hasil kinerja diagnostik yang dilaporkan pada masing-masing studi. Tabel data literatur review yang sudah disusun sebagai berikut:

Tabel 1. Data 12 Jurnal Literatur Riview

Peneliti/ Author	Negara	Organ	pemeriksaan	Metode Pewarnaan	Dataset	Pixel level	Sampling	Base Model	Hasil
Elliott Range et al. (2020)	USA	Tiroid	Klasifikasi jinak/ganas	Papanicola ou	659 pasien (908 WSIs) (4494 patches)	-	FNAC	Machine learning and CNNs	Sens: 92.0% Spec: 90.5% AUC: 0.93%
Guan et al. (2019)	China	Tiroid	Klasifikasi jinak/PTC	LBC, dan H&E	279 WSI (887 patch images)	224 × 224	FNAC	VGG- 16/ Inceptio n-V3	Sens 100% Spec 94.91% Acc: 97.6%
Sanyal et al. (2018)	India	Tiroid	Klasifikasi PTC/non- PTC	Papanicola ou	370 patches	512 × 512	FNAC	CNN	Sens: 90.48% Spec: 83.33% Acc: 85.1%
Zhang et al. (2021)	China	Kandu ng Kemih	Klasifikasil UC/SqC/DC/ IC/AU/SHGU C	Papanicola ou	49 cases 49 Images	-	Sampel Urin	CNN	Identifie d abnorm al urotheli al cells
Awan et al. (2021)	UK	Kandu ng Kemih	Segmentasi, Klasifikasi Bc/IC/AU/Sq C/SHGUC	LBC Pap	398 WSIs (9096 patches)	256 × 256 500 × 500 5000 × 5000	Sampel Urin	RetinaN et	AUC Atypica l: 0.81 Maligna nt: 0.83
Teramot o et al. (2020)	Japan	Paru- Paru	Klasifikasi jinak/ganas	Papanicola ou	60 cases (793 patches)	256 × 256	FNAC /Broncho scopy	CNN/ DCGAN/ PGGAN ,	Sens: 85.4% Spec: 85.3% Acc: 85.3% %
Gonzale z et al. (2020)	USA	Paru- Paru	Klasifikasi SCLC/LCNE C	Diff-Quik/ Pap/H&E	40 cases (114 WSIs) (464,378 patches)	299 × 299	FNAC /Broncho scopy	Inceptio n V3	Diff- Quik Model Sens: 1.00%, Spec: 87.5%,

									AUC: 1.00% Pap- stained Model Sens: 1.00%, Spec: 85.7%, AUC: 1.00% H&E model Sens: 1.00% Spec: 87.5% AUC: 87.5%
Momeni - Borouje ni et al. (2017)	USA	Pankreas	Segmentasi nukleus/ Klasifikasi/ Kelangsungan hidup (Jinak/Ganas/ Atipikal)	Papanicolaou	75 cases (277 images)	-	FNAC	K- means clusterin g/MNN	Acc: 100% (Benign or maligna nt) Acc: 77% (Atypic al cases classifie d as benign or maligna nt)
Fragopoulos et al. (2020)	Yunan i	Tiroid	Klasifikasi jinak/ganas	LBC Pap- stained	447 WSI (41,324 nuclei)	1024 × 768	FNAC	ANN (RBF)	Sens: 95.0%, Spec: 95.5%
Nojima et al. (2021)	India	Kandu ng Kemih	Klasifikasi Jinak/Ganas Grading nuklir invasi stroma	LBC Pap	232 cases 466 WSIs (61,512 patches)	256 × 256 128 × 128	Sampel Urin	VGG16	AUC: 0.98, F1 score: 0.90 AUC: 0.86, F1 score: 0.82 AUC: 0.86, F1 score: 0.82

Negrelli et al. (2025)	Italia	Tiroid	Klasifikasi kategori Bethesda, prediksi molekuler, triase kasus	Diff-Quik, Papanicolaou, H&E	Berbagai dataset institusi tunggal & multi-institusi	-	FNAC	CNN, MIL, model hibrida	Akurasi klasifikasi Bethesda II, IV, VI: 97% AUC reklasifikasi kasus tidak pasti: 0,85
Assaad et al. (2023)	USA	Tiroid	Klasifikasi jinak/ganas & kategori Bethesda dari gambar ponsel	Papanicolaou	964 WSIs Uji: 100 slide (20 ROI per slide)	128 × 128	FNAC	Mobile NetV2	AUC pemindaian: 97,8% AUC ponsel tanpa augmentasi: 89,5% AUC ponsel dengan augmentasi: 96,0% AUC kasus tidak pasti: 96,2%

Pembahasan

Penerapan kecerdasan buatan khususnya berbasis pembelajaran mendalam (deep learning) pada pemeriksaan sitologi non-ginekologi menunjukkan perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir, sebagaimana terangkum dalam karakteristik studi pada Tabel. Secara keseluruhan, berbagai arsitektur model yang dikembangkan mampu membedakan sediaan jinak dan ganas, mengklasifikasikan kategori diagnostik, hingga memprediksi perubahan molekuler, dengan rentang kinerja yang bervariasi namun secara umum menjanjikan nilai tambah yang signifikan bagi praktik patologi klinis. Variasi hasil yang ditemukan antar penelitian dipengaruhi oleh perbedaan jenis organ, metode pengambilan sampel, teknik pewarnaan, ukuran dan keragaman dataset, resolusi citra, serta jenis arsitektur kecerdasan buatan yang digunakan.

Pada organ tiroid yang menjadi fokus terbanyak dalam studi ini. Dalam penelitian yang dilakukan Elliott Range et al. (2020) menunjukkan bahwa model pembelajaran mesin yang menggabungkan pendekatan pembelajaran tradisional dan jaringan saraf konvolusi

mampu membedakan lesi jinak dan ganas dari sediaan sitologi dengan nilai sensitivitas 92,0%, spesifisitas 90,5%, dan AUC 0,93 menggunakan pewarnaan Papanicolaou. Hasil ini sejalan dengan penelitian Fragopoulos et al. (2020) yang menggunakan jaringan saraf tiruan berbasis fungsi basis radial pada sediaan sitologi berbasis cairan, menghasilkan sensitivitas 95,0% dan spesifisitas 95,5% dalam klasifikasi jinak dan ganas. Guan et al. (2019) yang menguji arsitektur VGG-16 dan Inception-V3 bahkan mampu mengidentifikasi karsinoma papilari tiroid dengan sensitivitas sempurna 100%, spesifisitas 94,91%, dan akurasi keseluruhan mencapai 97,6%, meskipun Sanyal et al. (2018) mendapatkan nilai yang sedikit lebih rendah namun tetap baik dengan akurasi 85,1% dalam membedakan karsinoma papilari dan non-papilari. Perbedaan hasil ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh perbedaan ukuran potongan citra yang digunakan, jumlah sampel yang diuji, serta karakteristik morfologi lesi yang menjadi sasaran utama penelitian.

Penelitian terbaru yang dilakukan Negrelli et al. (2025) memberikan wawasan yang lebih komprehensif dengan menggabungkan berbagai arsitektur seperti jaringan saraf konvolusi, pembelajaran berkelompok ganda (Multiple Instance Learning), dan model hibrida. Studi ini tidak hanya berfokus pada klasifikasi jinak dan ganas, melainkan mampu mengklasifikasikan kategori sistem Bethesda secara rinci serta memprediksi adanya perubahan genetik seperti mutasi BRAF dan RAS secara langsung dari gambaran sitologi. Kinerja klasifikasi untuk kategori Bethesda II, IV, dan VI mencapai akurasi hingga 97%, sedangkan untuk kelompok kasus yang secara klinis sering menimbulkan keraguan yaitu Bethesda III dan IV, nilai AUC gabungan untuk reklasifikasi mencapai 0,85. Hal ini sangat relevan mengingat tantangan utama dalam sitologi tiroid terletak pada penentuan kategori yang tidak pasti, di mana interpretasi antar ahli patologi sering kali menunjukkan variasi yang cukup tinggi. Selanjutnya, Assaad et al. (2023) membuktikan bahwa penerapan kecerdasan buatan tidak terbatas pada citra yang dihasilkan oleh peralatan pemindai canggih di laboratorium, melainkan dapat diadaptasi pada citra yang diambil menggunakan perangkat genggam seperti ponsel pintar. Melalui pengujian arsitektur MobileNetV2, ditemukan bahwa citra yang diperoleh dari pemindai laboratorium menghasilkan kinerja yang sangat baik dengan nilai AUC 97,8%. Meskipun citra yang diambil menggunakan ponsel tanpa penambahan variasi warna saat pelatihan model mengalami penurunan kinerja menjadi AUC 89,5%, hal ini dapat diperbaiki secara signifikan hingga mencapai AUC 96,0% dengan menerapkan teknik augmentasi warna pada tahap pelatihan. Bahkan pada kelompok kasus tidak pasti yang masuk dalam kategori Bethesda III hingga V, model tetap mampu menunjukkan kinerja yang setara dengan penilaian ahli patologi manusia dengan nilai AUC 96,2% dibandingkan 95,6% pada penilaian manusia. Temuan ini memiliki implikasi yang sangat luas, terutama untuk fasilitas kesehatan di daerah dengan keterbatasan peralatan laboratorium canggih, sehingga pemeriksaan sitologi berkualitas tetap dapat dilakukan dengan dukungan teknologi yang lebih mudah diakses.

Pada pemeriksaan sitologi kandung kemih, kemampuan kecerdasan buatan juga menunjukkan perkembangan yang menjanjikan. Zhang et al. (2021) menggunakan arsitektur jaringan saraf konvolusi mampu mengidentifikasi adanya sel urothelial abnormal dari sediaan sitologi urin, meskipun belum disajikan dalam bentuk nilai kinerja diagnostik yang terukur. Awan et al. (2021) yang mengembangkan model berbasis RetinaNet untuk melakukan segmentasi dan klasifikasi sel, mendapatkan nilai AUC 0,81 untuk lesi atipikal dan 0,83 untuk lesi ganas. Sementara itu, Nojima et al. (2021) yang menggunakan arsitektur VGG16 menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam klasifikasi jinak dan ganas dengan nilai AUC 0,98 dan skor F1 sebesar 0,90, serta nilai AUC 0,86 dengan skor F1 0,82 untuk penilaian invasi stroma dan penilaian lainnya. Variasi hasil ini menunjukkan bahwa tantangan pada sitologi kandung kemih terletak pada keragaman morfologi sel yang dapat

muncul pada kondisi peradangan, reaktif, maupun keganasan, sehingga kemampuan model untuk membedakan perubahan yang bersifat tumpang tindih menjadi hal yang sangat penting untuk dikembangkan lebih lanjut.

Untuk organ paru-paru, Teramoto et al. (2020) melaporkan kinerja yang seimbang dengan nilai sensitivitas, spesifisitas, dan akurasi masing-masing sekitar 85% dalam klasifikasi jinak dan ganas, bahkan memanfaatkan citra hasil sintesis dari model pembelajaran generatif untuk melengkapi data yang tersedia. Sementara itu, Gonzalez et al. (2020) menunjukkan hasil yang sangat istimewa dengan nilai sensitivitas sempurna 100% pada ketiga jenis pewarnaan yang diuji yaitu Diff-Quik, Papanicolaou, dan Hematoksilin-Eosin, dengan nilai AUC mencapai 1,00 untuk dua jenis pewarna pertama dan 0,875 untuk pewarna Hematoksilin-Eosin dalam membedakan karsinoma sel kecil dan karsinoma neuroendokrin sel besar. Hal ini menunjukkan bahwa kecerdasan buatan mampu mengenali perbedaan morfologis yang sangat halus antar subtipe neoplasma, meskipun setiap jenis pewarnaan memberikan informasi morfologi yang berbeda dan memiliki karakteristik tampilan yang khas.

Pada pemeriksaan sitologi pankreas, Momeni-Boroujeni et al. (2017) menunjukkan kemampuan model untuk membedakan lesi jinak dan ganas dengan akurasi sempurna 100%, namun kemampuan untuk mengelompokkan lesi yang bersifat atipikal masih terbatas dengan akurasi sebesar 77%. Hal ini mengindikasikan bahwa tantangan utama yang dihadapi hampir sama dengan yang terjadi pada organ tiroid, yaitu pada kasus yang memiliki ciri morfologi yang tumpang tindih antara kondisi jinak dan ganas, sehingga diperlukan pengembangan model yang lebih mampu menangkap ciri-ciri yang lebih rinci dan halus pada kelompok kasus tersebut.

Secara keseluruhan, hasil dari berbagai studi yang telah diuraikan menunjukkan bahwa kecerdasan buatan berpotensi besar menjadi alat bantu yang andal dan berharga bagi ahli patologi dalam praktik klinis sehari-hari. Penerapan teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan konsistensi hasil interpretasi, mengurangi variabilitas antar-pemeriksa, mempercepat proses pelaporan hasil pemeriksaan, serta membantu mengurangi beban kerja yang cukup berat pada unit patologi yang menangani jumlah spesimen yang banyak. Namun demikian, terdapat beberapa aspek penting yang masih perlu diperhatikan dan dikembangkan lebih lanjut sebelum teknologi ini dapat diterapkan secara luas dan rutin dalam pelayanan kesehatan. Pertama keragaman metode preparasi sediaan, teknik pewarnaan, serta perbedaan kualitas citra antar institusi kesehatan dapat memengaruhi kinerja model kecerdasan buatan yang dikembangkan pada data dari satu pusat saja. Kedua, sebagian besar penelitian saat ini masih bersifat retrospektif dan dilakukan pada satu atau beberapa institusi terbatas, sehingga diperlukan validasi yang lebih luas melibatkan berbagai pusat kesehatan dengan karakteristik populasi dan metode kerja yang berbeda. Ketiga, belum terdapat standarisasi yang baku terkait ukuran potongan citra, resolusi gambar, serta parameter pengambilan gambar yang digunakan dalam pengembangan model. Keempat, aspek interpretabilitas model masih menjadi tantangan, di mana penjelasan mengenai alasan mengapa model menentukan suatu citra sebagai ganas atau jinak belum dapat dijelaskan secara rinci sebagaimana cara kerja penilaian manusia.

Oleh karena itu, pengembangan model yang lebih tangguh terhadap variasi kondisi pra-analitis, uji coba prospektif pada skala yang lebih luas, serta penyusunan pedoman standar penerapan kecerdasan buatan dalam sitologi sangat diperlukan untuk menjamin keamanan, akurasi, dan manfaat optimal teknologi ini bagi pasien dan tenaga kesehatan. Dengan memperhatikan berbagai aspek tersebut, kecerdasan buatan bukan hanya sekadar alat bantu, melainkan mitra yang dapat meningkatkan kualitas layanan diagnostik sitologi secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Systematic Literature Review terhadap berbagai penelitian yang dikaji, dapat disimpulkan bahwa penerapan kecerdasan buatan berbasis pembelajaran mendalam pada pemeriksaan sitologi non ginekologi menunjukkan perkembangan yang sangat menjanjikan. Secara umum, berbagai model yang dikembangkan mampu membedakan lesi jinak dan ganas, mengklasifikasikan kategori diagnostik secara rinci, hingga memprediksi perubahan molekuler pada berbagai organ seperti tiroid, kandung kemih, paru paru, dan pankreas dengan tingkat akurasi, sensitivitas, serta spesifisitas yang bervariasi namun cenderung tinggi. Pada organ tiroid, model bahkan mampu mengelompokkan temuan sesuai sistem Bethesda serta beradaptasi dengan citra yang diambil menggunakan perangkat genggam, sehingga membuka peluang penerapan di fasilitas dengan keterbatasan peralatan. Untuk organ lain, kemampuan mengenali perbedaan morfologis yang halus juga terlihat cukup baik, meskipun tantangan utama masih terdapat pada kasus dengan ciri yang tumpang tindih atau bersifat atipikal. Perbedaan hasil antar penelitian dipengaruhi oleh jenis organ, cara pengambilan sampel, teknik pewarnaan, ukuran dan keragaman data, serta jenis arsitektur yang digunakan. Selain itu, sebagian besar studi masih bersifat retrospektif dan terbatas pada lingkup institusi tertentu, sehingga standarisasi serta validasi yang lebih luas masih diperlukan. Dengan demikian, kecerdasan buatan berpotensi menjadi alat bantu yang sangat berharga bagi ahli patologi untuk meningkatkan konsistensi, kecepatan, dan ketepatan diagnosis. Namun, sebelum diterapkan secara rutin, masih diperlukan penyusunan pedoman yang baku, pengujian pada skala yang lebih luas, serta pengembangan sistem yang lebih tangguh terhadap variasi kondisi pra analitis guna menjamin keamanan dan manfaat optimal bagi pasien maupun tenaga kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Awan, R., Benes, K., Azam, A., Song, T. H., Shaban, M., Verrill, C., ... & Rajpoot, N. (2021). Deep learning based digital cell profiles for risk stratification of urine cytology images. *Cytometry Part A*, 99(7), 732-742. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cyto.a.24313>
- Assaad, S., Dov, D., Davis, R., Kovalsky, S., Lee, W. T., Kahmke, R., ... & Range, D. E. (2023). Thyroid cytopathology cancer diagnosis from smartphone images using machine learning. *Modern Pathology*, 36(6), 100129. Thyroid Cytopathology Cancer Diagnosis from Smartphone Images Using Machine Learning - ScienceDirect
- Elliott Range, D. D., Dov, D., Kovalsky, S. Z., Henao, R., Carin, L., & Cohen, J. (2020). Application of a machine learning algorithm to predict malignancy in thyroid cytopathology. *Cancer Cytopathology*, 128(4), 287-295. <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cncy.22238>
- Fragopoulos, C., Pouliakis, A., Meristoudis, C., Mastorakis, E., Margari, N., Chroniaris, N., ... & Misiakos, E. P. (2020). Radial basis function artificial neural network for the investigation of thyroid cytological lesions. *Journal of thyroid research*, 2020(1), 5464787. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2020/5464787>
- Giansanti, D. (2024). AI in Cytopathology: A Narrative Umbrella Review on Innovations, Challenges, and Future Directions. *Journal of Clinical Medicine*, 13(22), 6745. <https://doi.org/10.3390/jcm13226745>
- Gonzalez, D., Dietz, R. L., & Pantanowitz, L. (2020). Feasibility of a deep learning algorithm to distinguish large cell neuroendocrine from small cell lung carcinoma in cytology specimens. *Cytopathology*, 31(5), 426-431. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/cyt.12829>
- Guan, Q., Wang, Y., Ping, B., Li, D., Du, J., Qin, Y., ... & Xiang, J. (2019). Deep convolutional neural network VGG-16 model for differential diagnosing of papillary thyroid carcinomas in cytological images: a pilot study. *Journal of Cancer*, 10(20), 4876. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6775529/>

- Kim, D., Sundling, K. E., Virk, R., et al. (2024). Digital cytology part 2: artificial intelligence in cytology: a concept paper with review and recommendations from the American Society of Cytopathology Digital Cytology Task Force. *Journal of the American Society of Cytopathology*, 13(2), 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.jasc.2023.11.005>
- Momeni-Boroujeni, A., Yousefi, E., & Somma, J. (2017). Computer-assisted cytologic diagnosis in pancreatic FNA: an application of neural networks to image analysis. *Cancer cytopathology*, 125(12), 926-933. <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cncy.21915>
- Negrelli M, Frascarelli C, Maffini F, Mangione E, Di Tonno C, Lombardi M, Porta FM, Urso M, L'Imperio V, Pagni F, Bellevicine C, Nacchio M, Malapelle U, Troncone G, Marra A, Curigliano G, Venetis K, Guerini-Rocco E, Fusco N. Artificial Intelligence in Thyroid Cytopathology: Diagnostic and Technical Insights. *Cancers (Basel)*. 2025 Oct 31;17(21):3525. doi: 10.3390/cancers17213525. PMID: 41228318; PMCID: PMC12610226. Artificial Intelligence in Thyroid Cytopathology: Diagnostic and Technical Insights - PMC
- Nojima, S., Terayama, K., Shimoura, S., Hijiki, S., Nonomura, N., Morii, E., ... & Fujita, K. (2021). A deep learning system to diagnose the malignant potential of urothelial carcinoma cells in cytology specimens. *Cancer cytopathology*, 129(12), 984-995. <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cncy.22443>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Sanyal, P., Mukherjee, T., Barui, S., Das, A., & Gangopadhyay, P. (2018). Artificial intelligence in cytopathology: a neural network to identify papillary carcinoma on thyroid fine-needle aspiration cytology smears. *Journal of pathology informatics*, 9(1), 43. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S215335392200356X>
- Teramoto, A., Tsukamoto, T., Yamada, A., Kiriya, Y., Imaizumi, K., Saito, K., & Fujita, H. (2020). Deep learning approach to classification of lung cytological images: Two-step training using actual and synthesized images by progressive growing of generative adversarial networks. *PloS one*, 15(3), e0229951. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0229951>
- Valles-Coral, M. A., Pinedo, L., Rodríguez, C., Rodríguez, D., Sánchez-Dávila, K., Arévalo-Fasanando, L., & Reátegui-Lozano, N. (2026). Application of artificial intelligence in cervical cytology: a systematic review of deep learning models, datasets, and reported metrics. *Frontiers in Big Data*, 8, 1678863. <https://doi.org/10.3389/fdata.2025.1678863>
- VandeHaar, M. A., Al-Asi, H., Doganay, F., Yilmaz, I., Alazab, H., Xiao, Y., Balan, J., Dangott, B. J., Nassar, A., Reynolds, J. P., & Akkus, Z. (2025). Challenges and Opportunities in Cytopathology Artificial Intelligence. *Bioengineering*, 12(2), 176. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12020176>
- Zhang, Z., Fu, X., Liu, J., Huang, Z., Liu, N., Fang, F., & Rao, J. (2021). Developing a machine learning algorithm for identifying abnormal urothelial cells: a feasibility study. *Acta cytologica*, 65(4), 335-341. <https://karger.com/acy/article-abstract/65/4/335/819690/Developing-a-Machine-Learning-Algorithm-for>