

PENGUNAAN *DEEP LEARNING* UNTUK MEMREDIKSI LUARAN FUNGSIONAL PADA STROKE ISKEMIK : TINJAUAN SISTEMATIS

Shahifa Audy Rahima^{1*}, Eko Aprilianto Handoko², Egiel Navadz Akthar Alami³, Putri Fortuna Sari⁴, Dita Rahmania⁵

Fakultas Kedokteran Universitas Jember^{1,3,4,5}, Departemen Neurologi, RSUD dr. Koesnadi Bondowoso²

Corresponding Author : shahifarahima@gmail.com

ABSTRAK

Stroke iskemik merupakan penyakit dengan prevalensi, mortalitas, dan morbiditas yang tinggi, sehingga ketepatan serta kecepatan prediksi luaran sangat penting dalam mendukung pengambilan keputusan klinis dan manajemen pasien. Perkembangan metode *deep learning* (DL) sebagai bagian dari kecerdasan buatan memanfaatkan jaringan saraf tiruan untuk mempelajari pola kompleks dari kumpulan data berskala besar secara otomatis. Pendekatan ini memungkinkan peningkatan akurasi diagnostik berbasis *computer-aided diagnosis* (CAD) serta prediksi luaran fungsional secara lebih presisi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja *deep learning* dalam menilai luaran fungsional pada stroke iskemik. Tinjauan sistematis dilakukan mengikuti pedoman PRISMA dengan penelusuran literatur pada periode 2015–2025. Kualitas metodologis dan risiko bias studi dinilai menggunakan instrumen ROBINS-I versi 2, sedangkan performa prediktif dianalisis berdasarkan indikator seperti Area Under the Curve (AUC), F1 Score, dan metrik relevan lainnya. Dari total 146 publikasi yang teridentifikasi, delapan studi memenuhi kriteria inklusi dengan risiko bias yang umumnya rendah. Hasil analisis menunjukkan performa prediktif yang baik, dengan nilai AUC tertinggi mencapai 0,91 dan terendah 0,71. Beberapa studi juga melaporkan akurasi yang tinggi berdasarkan F1 Score (hingga 0,79) dan nilai recall yang memadai. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa *deep learning* merupakan pendekatan yang menjanjikan dan berpotensi menjadi strategi inovatif dalam penilaian luaran fungsional pada pasien stroke iskemik.

Kata kunci : *deep learning*, luaran fungsional, stroke iskemik

ABSTRACT

Ischemic stroke is a high-prevalence disease with high mortality and morbidity. Accurate and timely prediction of outcomes is important for clinical decision-making and patient management. Recently, Deep learning (DL), as part of Artificial Intelligence (AI), is promised to produce accurate insights and predictions through Computer-Aided Diagnosis (CAD). DL shows high accuracy in diagnosing and predicting functional outcomes. This study aims to evaluate DL in assessing functional outcomes in ischemic stroke. We used the PRISMA Flowchart to conduct this research, specific search engines, and selected studies from 2015 to 2025 that had complete data. We used ROBINS-I V2 tool to assess the quality and risk of bias in the included studies. Predictive accuracy was evaluated using multiple metrics. We selected a total of 146 publications and included 8 studies. Most studies showed a low risk of bias based on ROBINS-I V2. Predictive performance was reported using multiple metrics, primarily AUC. The highest AUC (0.91) was reported by Liu et al. (2023), and the lowest (0.71) by Jung et al. (2024). Several studies also demonstrated strong performance using F1 Score (up to 0.79) and Recall (up to 0.31). DL offers a novel approach to stroke outcome prediction, mainly through multimodal data fusion. Neuroimaging and clinical variable models have great predictive value and generalizability. However, challenges such as improved interpretability, standardized assessment criteria, and external validation across populations remain and must be incorporated in future studies to improve clinical applicability.

Keywords : *deep learning*, ischemic stroke, functional outcome

PENDAHULUAN

Stroke iskemik adalah kondisi ketika terjadi hambatan aliran darah ke otak, medula spinalis, dan retina, yang dapat menjadi penyebab utama kematian dan kecacatan secara global.

Ketepatan dan kecepatan dalam memprediksi hasil sangat penting untuk pengambilan keputusan klinis, manajemen pasien, dan perencanaan rehabilitasi. *Modified Rankin Scale* (mRS) adalah ukuran klinis yang umum digunakan untuk menilai tingkat disabilitas atau ketergantungan dalam aktivitas sehari-hari setelah stroke. Skor mRS dapat membantu klinisi memberikan perawatan yang komprehensif (Salaudeen, M., et al, 2024).

Metode *Deep learning* (DL) adalah inovasi yang mampu mempelajari pola kompleks dari dataset besar. Teknik ini berguna untuk memproses berbagai data seperti *neuroimaging*, variabel klinis, dan informasi demografis yang sering digunakan dalam penilaian pasien stroke. *Deep learning* mampu menjadi alat prediktif skor mRS serta diagnostik, sehingga meningkatkan ketepatan prediksi hasil dibandingkan dengan metode konvensional terutama pada pasien stroke iskemik. Salah satu keunggulan paling signifikan dari *deep learning* dibandingkan pendekatan statistik konvensional adalah kemampuannya untuk menangani dataset yang besar dan kompleks. Studi-studi terbaru menunjukkan potensi *deep learning* dalam memprediksi hasil stroke jangka panjang, pemulihan neurologis, dan risiko komplikasi pasca-stroke. Menurut studi oleh Xie et al. (2021), teknik *deep learning* terbukti lebih unggul daripada metode tradisional dalam memprediksi hasil fungsional 90 hari pasca-stroke, sehingga secara signifikan meningkatkan proses pengambilan keputusan dalam praktik klinis (Xie, Y., Li, Z., & Zhao, X, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan teknik *deep learning* dalam memprediksi hasil stroke iskemik menggunakan Modified Rankin Scale, menganalisis efektivitasnya serta mengatasi tantangan dalam interpretabilitas model dan keberagaman data.

METODE

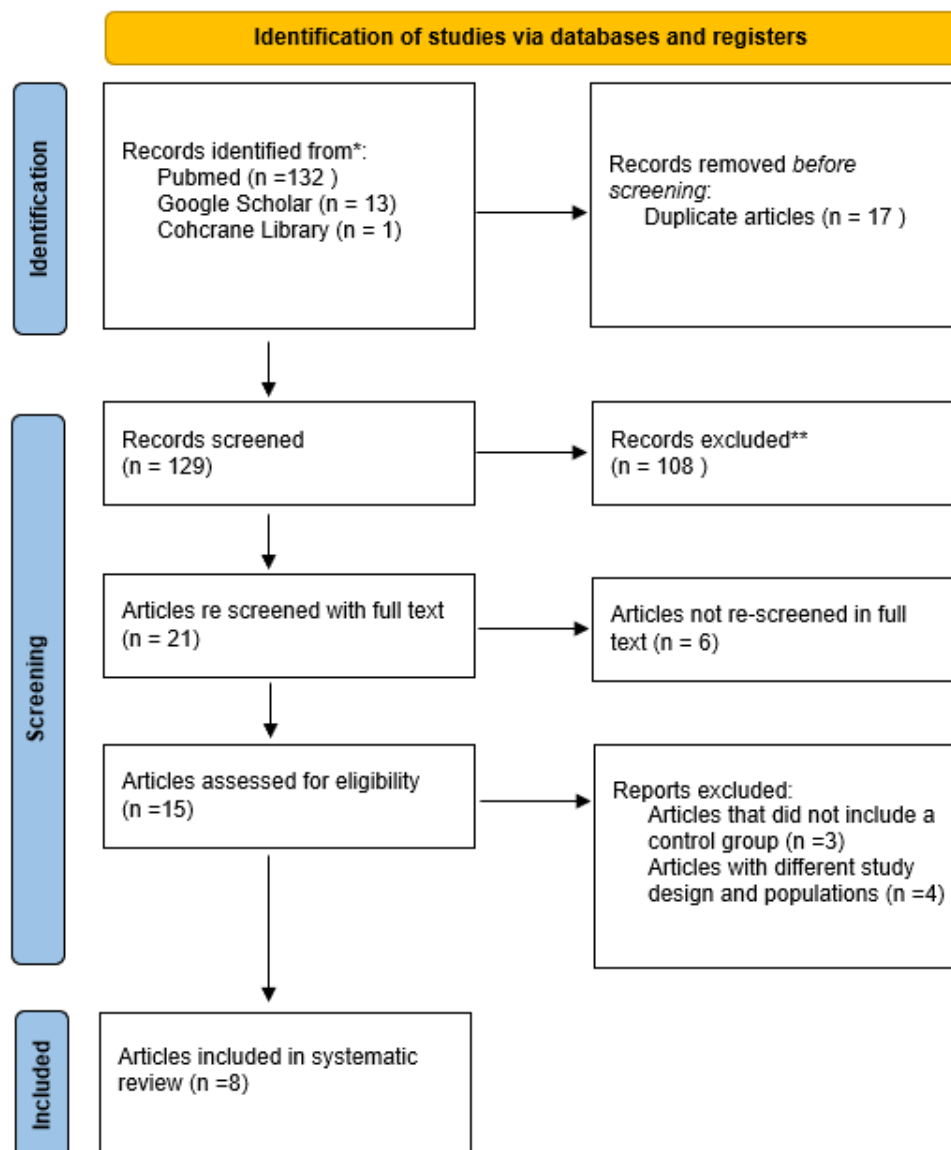
Tinjauan sistematis ini dilakukan berdasarkan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA). Protokol penelitian telah didaftarkan di PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*) dengan nomor registrasi CRD420251002281. Kriteria kelayakan studi ditentukan berdasarkan kerangka PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, dan Study Design*), dengan rincian sebagai berikut: Populasi: Pasien dewasa yang didiagnosis menderita stroke iskemik, dikonfirmasi melalui pencitraan (CT/MRI) atau diagnosis medis. Studi yang menggunakan model *deep learning* secara khusus untuk menilai atau memprediksi luaran fungsional setelah stroke iskemik. Studi yang membandingkan penilaian berbasis *deep learning* dengan metode klinis tradisional. Hasil fungsional pasca stroke. Termasuk studi randomized maupun non-randomized. Eksklusi dilakukan pada studi yang melibatkan pasien dengan stroke hemoragik, serangan iskemik transien (TIA), kondisi neurologis lainnya, atau menggunakan model statistik dan machine learning konvensional tanpa penerapan metode *deep learning*.

Pencarian literatur dilakukan melalui tiga basis data elektronik, yaitu Google Scholar, PubMed, dan *Cochrane Library* hingga bulan Maret 2025. Kata kunci ditentukan menggunakan operator Boolean, dan seluruh hasil pencarian disimpan menggunakan Rayyan.ai. Artikel yang diperoleh disaring oleh empat peninjau independen. Proses penyaringan difasilitasi oleh Rayyan.ai untuk mengidentifikasi dan menghapus duplikasi. Penyaringan lanjutan dilakukan berdasarkan judul, abstrak, dan teks lengkap, dengan memastikan kesesuaian terhadap kriteria inklusi-eksklusi yang telah ditentukan sebelumnya. Kelayakan setiap artikel kemudian dievaluasi berdasarkan kerangka PICOS. Artikel yang memenuhi kriteria dan telah melalui penilaian kritis disertakan dalam studi ini dan ditampilkan dalam diagram alur PRISMA. Kualitas masing-masing studi dinilai oleh empat peninjau independen menggunakan alat penilaian *Risk Of Bias In Non-randomized Studies of Interventions* versi 2 (ROBINS-I V2). Data dari studi yang lolos seleksi selanjutnya diekstraksi ke dalam sebuah tabel yang memuat informasi karakteristik masing-masing studi.

HASIL

Sebanyak 146 artikel diperoleh dari tiga basis data elektronik selama pencarian literatur untuk penelitian ini (PubMed: 132, Google Scholar: 13, Cochrane Library: 1). Setelah menghapus 17 artikel duplikat, sebanyak 129 artikel diseleksi berdasarkan judul dan abstraknya. Setelah proses penyaringan tersebut, 108 artikel dikeluarkan. Sebanyak 21 artikel disaring ulang dalam bentuk teks lengkap, namun enam artikel dikeluarkan karena tidak disaring ulang dalam bentuk teks lengkap. Setelah menilai 15 artikel teks lengkap untuk kelayakan, tujuh artikel dikeluarkan karena alasan seperti tidak adanya kelompok kontrol ($n = 3$) dan desain serta populasi penelitian yang berbeda ($n = 4$). Akhirnya, delapan studi memenuhi kriteria kelayakan untuk dimasukkan dalam tinjauan sistematis ini. Proses seleksi ditampilkan dalam diagram PRISMA (gambar 1).

PEMBAHASAN



Gambar 1. Diagram PRISMA

Deep learning menjadi salah satu inovasi diagnosis berbasis teknologi terutama pada bidang neurologi. *Deep learning* mampu menjadi alat bantu diagnostik dan prediktif luaran terutama pada pasien stroke iskemik. Tinjauan sistematis ini mengevaluasi kemampuan *deep learning* melalui analisis dari berbagai kumpulan data yang kompleks. Hasil rangkuman dari tinjauan sistemik yang telah dilakukan oleh peneliti dapat dilihat pada tabel 1. Fang, dkk., (2022). melakukan penelitian tentang tingkat akurasi *deep learning* sebagai alat diagnostik dan prediksi luaran klinis pasien stroke iskemik. peneliti menggunakan kumpulan data The International Stroke Trial (IST) dengan total 16.403 data serta modalitas pencitraan berupa CT Scan, MRI, dan PET Scan. Peneliti juga memadukan 49 variabel klinis untuk meningkatkan akurasi diagnosis. Dari hasil penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi melalui analisis kerangka convolutional neural networks (CNNs) mencapai nilai akurasi 0,82. (Fang, G., Huang, Z., & Wang, Z, 2022).

Penelitian oleh Liu dkk., (2023) mengevaluasi luaran klinis secara fungsional pada pasien stroke iskemik melalui analisis *Fused imaging* dan *Deep learning*. Penelitian ini menggunakan kumpulan data dengan jumlah 640. Pada penelitian ini analisis *Fused imaging* I dan II yang mengkombinasikan data MRI diffusion-weighted imaging (DWI) dan variabel klinis seperti skor NIHSS dan skala mRS menunjukkan nilai akurasi yang tinggi melalui *Area Under Curve* (AUC) 0,91-0,92 serta lebih baik dibanding analisis menggunakan Machine Learning. Amador dkk., (2025) menganalisis data pasien stroke iskemik yang menggunakan pencitraan perfusi CT 4D sebanyak 70 kasus dengan dipadukan variabel klinis seperti status merokok, reperfusi, dan lainnya. Penelitian ini menunjukkan akurasi yang cukup tinggi melalui analisis *cross atenuon deep learning* menunjukkan AUC = 0,75 dan F1 Score 0, 77. (Amador, K., Pinel, N., Winder, A. J., Fiehler, J., Wilms, M., & Forkert, N. D, 2025).

Osama dkk., (2020). melakukan penelitian dengan pendekatan Parallel Multi-Parametric Feature Embedded Siamese Network (PMFE-SN) yang memungkinkan ekstraksi data secara komprehensif dan multipel data dalam 1 proses analisis. Penelitian ini menggunakan kumpulan data ISLES 2017, yang terdiri dari 43 kasus dan menunjukkan hasil akurasi melalui nilai AUC = 0,81. Penelitian yang dilakukan oleh Yang dkk melakukan analisis menggunakan kombinasi fitur statis dan dinamis dari pencitraan DSC-PWI. Penelitian ini menggunakan 161 data yang didapatkan dari kumpulan data pasien di beberapa rumah sakit. Penelitian ini menunjukkan akurasi yang tinggi pada kolaborasi metode analisis statis dan dinamis dengan nilai akurasi 0.971 dan 95% CI (0.92, 0.983) (Yang, Y., & Guo, Y, 2024).

Tabel 1. Ringkasan Kualitatif Dari Penelitian yang Terpilih

Penulis, Tahun	Fang, dkk., 2022	Liu, dkk., 2023	Yang, dkk., 2024	Oliviera, dkk., 2023	Amador, dkk., 2025	Osama, dkk., 2020	Jung, dkk., 2024	Samak, dkk., 2024
Lokasi	Tiongkok	Amerika Serikat	Tiongkok	Portugal	Jerman	Pakistan	Korea Selatan	Belanda
Desain Studi	Studi Retrospektif	Studi Retrospektif	Studi Retrospektif	Studi Retrospektif	Studi Retrospektif	Studi Retrospektif	Studi Retrospektif	RCT (Uji Acak Terkontrol)
Tipe Stroke	Stroke Iskemik	Stroke Iskemik	Stroke Iskemik	Stroke Iskemik	Stroke Iskemik Akut	Stroke Iskemik Akut	Stroke Iskemi k	Stroke Iskemik
Onset Stroke	48 jam	1-7 hari	7.05 ± 10 jam	<72 jam	TD	TD	<24 jam	TD
Pencitraan	CT Scan	MRI	MRI	CT dan CTA	4D CTP	MRI multiparametrik	MRI	CT scan non-kontras (NCCT)

Data tambahan	49 kriteria klinis	TD	TD	TD	TD	TD	Kriteria klinis	NR
Ukuran Dataset	19.435	640	161	743	70	43	5018	500
Data yang disertakan	16.403	640	88	743	70	43	2606	500
Sumber Data	Dataset <i>The International Stroke Trial</i> (IST)	<i>Collateral in Acute Stroke</i> (iCAS), <i>Diffusion Weighted Imaging Evaluation for Understanding Stroke Evolution Study-2</i> (DEFUS E-2), <i>Endovascular Therapy Following Imaging Evaluation for Ischemic Stroke 3</i> (DEFUS E 3), <i>Computed Tomography Perfusion to Predict Response to Recanalization in Ischemic Stroke Project</i> (CRISP)	Dataset dari tahun 2013 hingga 2016 dan mencakup 161 gambar DSC-PWI yang diperoleh dari 88 pasien yang dirawat di rumah sakit.	rekam medis 2016 - 2019	Universitas Medical Center Hamburg - Eppendorf di Jerman tahun 2015 - 2019.	ISLES 2017	Registri <i>Korean Stroke Neuroimaging Initiative</i> (KOSNI)	Dataset uji MR CLEAN, 16 pusat medis di Belanda
Kerangka Deep learning	Resnet, LSTM, CNN	Fused Model	LSTM, CNN, RNN, LN	ASTRAL	<i>cross-attention deep learning model</i>	<i>parallel multi-parametric feature embedde</i>	<i>Deep Neural Network</i>	FeMA

*d siamese
network*

Kriteria Inklusi	Memenuhi kriteria diagnosis stroke iskemik dan data lengkap	Data dengan mRS 90-hari dan DWI ke-1-7	Pasien dewasa dengan gambar DSC-PWI & DWI dalam 24 jam masuk	Pasien dengan stroke iskemik kurang dari 72 jam sejak onset dan berusia 18 tahun atau lebih.	1) stroke unilateral untuk pertama kalinya akibat oklusi pembuluh darah besar anterior, (2) menjalan i pencitraan CTP baseline sebelum pengobatan dalam waktu 12 jam sejak onset stroke, (3) menerima terapi tromboektomi mekanik endovaskular saja (EVT) atau dikombinasikan dengan terapi trombolitik (EVT+IVT), dan (4) memiliki maksimal dua variabel klinis yang hilang dalam data mereka.	TD	1. sia > 20 tahun 2. engalami gejala stroke, termasuk TIA	TD
Kriteria Eksklusi	Tidak memenuhi kriteria diagnosis	Data Tanpa mRS 90 hari,	Pasien tanpa data dasar atau	Kanker aktif, riwayat bedah	Skor mRS ≥ 5	TD	1) Tidak ada data 90	TD

	stroke iskemik atau data tidak lengkap	tanpa DWI hari ke-1–7, atau gambar B0	gambar dihapus	revaskula risasi otak, skor Rankin >5		days mRs Score 2) Onset > 24 jam 3) tidak ada abnorm alitas di CT Scan 4) Kualita s gambar CT scan buruk									
Luaran Klinis	Outcome fungsional 6 bulan	90- mRS	day	90- mRS	day	90- mRS	day	90- mRS	day	90- mRS	day	90- mRS	day	90- mRS	day
Hasil AUC		Fused model 1 AUC= 0,91; fused model 2 AUC= 0,92				LR 5vars SN AUC 0.806 LR 8vars AUC 0.796 LR 5vars AUC 0.809 ASTRAL AUC 0.784 LR 2vars AUC 0.791		AUC 0.75 (0.64– 0.87)		AUC: 0.81 (kelas 4); accuracy: 0.61 (kelas 1) and 0.67 (kelas 4)		Ensem ble AUC 0.830; Clinical AUC 0.814; b1000 AUC 0.748; ADC AUC 0.713; FLAIR AUC 0.731;		AUC 0.79	
Accuracy	Resnet (epoch 20) :0,83; LSTM (epoch 20): 0,82; CNN (epoch 20) : 0,82.							accuracy: 0.77 (0.70– 0.87);						mRS score predictio n Accuracy 0.79;	
F1 Score	Resnet (epoch 20) F1 score 0,07.; LSTM (epoch 20) F1 score 0,20.; CNN (epoch 20) F1 score 0,38.					LR 5vars SN F1 score 0.611 LR 8vars F1 score 0.602 LR 5vars F1 score 0.646		F1-score 0.79 (0.70– 0.88);		F1macro: 0.28		Ensem ble F1 score 0.696; Clinical F1 score 0.689;		FI score 0.60	

Recall	Resnet (epoch 20) : 0,04; LSTM (epoch 20) : 0,12; CNN (epoch 20) : 0,31	ASTRAL F1 score 0.60 LR 2vars F1 score 0.586	b1000 F1 score 0.624; ADC F1 score 0.569; FLAIR F1 score 0.610
Others	MS score = 0.971 and 95% CI (0.92, 0.983)		MAE: 1.18;; MCC: 0.09
			Ensem ble SEN 0.759; SPE 0.743;P PV 0.643; NPV 0.843 dengan 95%Cis ; Clinical SEN 0.709; SPE 0.787;P PV 0.670; NPV 0.815 b1000 SEN 0.643; SPE 0.745;P PV 0.611; NPV 0.775 ADC SEN

0.652;
SPE
0.673;P
PV
0.550;
NPV
0.760
FLAIR
SEN
0.697;
SPE
0.643;P
PV
0.545;
NPV
0.779

Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh Oliviera dkk., (2023) menganalisis kumpulan data pasien stroke iskemik dengan jumlah 743 dari tahun 2016-2019. Oliviera dkk., 2023 menganalisis data pencitraan dengan kombinasi predictor klinis seperti ASPECT Score yang memungkinkan peningkatan hasil akurasi. Hasil analisis menunjukkan nilai AUC LR 5vars 0.809. Jung dkk., (2020). melakukan penelitian pada kumpulan data dari Korean Stroke Neuroimaging Initiative (KOSNI) registry dengan jumlah data 5018. Peneliti mengembangkan model ensemble *deep learning* dan menganalisis data klinis dan pencitraan multimodal pada pasien stroke iskemik akut. Hasil analisis mencapai nilai AUC sebesar 0,830. Penelitian yang dilakukan oleh Samak dkk., (2024) berhasil menganalisis pasien stroke iskemik dari kumpulan data MR CLEAN Trial dataset sebanyak 500 menggunakan metode FeMA dengan nilai AUC sebesar 0,79. (Samak, Z. A., Clatworthy, P., & Mirmehdi, M, 2022).

Berdasarkan hasil tinjauan sistematis yang telah dilakukan oleh peneliti, *deep learning* adalah modalitas diagnostik dan prediktif luaran klinis yang cukup menjanjikan. Hal ini dibuktikan dengan rentang nilai Area Under Curve atau AUC pada penelitian Liu dkk., 2023, Oliviera dkk., (2023), Amador dkk., (2025), Osama dkk., (2020), Jung dkk., (2020), Samak dkk., (2024), yang menunjukkan nilai 0,75-0,91. Nilai AUC tertinggi terdapat pada penelitian Liu dkk., (2023) yang menunjukkan 0,92 yang memiliki intrepetasi sangat baik untuk mengklasifikasikan diagnostik stroke iskemik dan menjadi alat predictor klinis. Selain itu, *Deep learning* terbukti lebih superior dibandingkan dengan Machine Learning. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Osama dkk., (2020) yang menunjukkan bahwa analisis menggunakan *deep learning* mencapai (AUC = 0.81). Pada penelitian Fang, dkk., (2022) juga menunjukkan bahwa akurasi analisis prediktif dan diagnostik meningkat 8-10% jika dikombinasikan dengan data variabel klinis dibanding pencitraan saja. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Amador dkk., (2025). dengan nilai AUC = 0,75 dibandingkan dengan analisis yang menggunakan pencitraan saja dengan AUC 0,60. Kombinasi pencitraan dan variabel klinis lebih baik digunakan karena mampu secara komprehensif untuk menganalisis suatu data. Analisis data pencitraan saja atau jenis *late fusion* (kombinasi pencitraan dan variabel klinis dengan proses analisis dan ekstraksi didominasi data pencitraan) yang memungkinkan interaksi lebih terbatas antara modalitas selama proses ekstraksi fitur, sehingga menghasilkan analisis yang kurang baik (Stahlschmidt, S.R., Ulfenborg, B., Synnergren, J., 2022)

Deep learning mampu untuk menganalisis data walaupun dengan dataset yang terbatas seperti yang ditunjukkan oleh penelitian Osama dkk., (2020) dengan menggunakan 43 data. Peneliti mengatasi masalah kecilnya sampel dan distribusi data yang tidak seimbang melalui strategi *few-shot learning* menggunakan jaringan Siamese, dikombinasikan dengan penyeimbangan data dua tahap. Metode ini menghasilkan sebuah arsitektur PMFE-SN yang

terdiri dari enam CNN berbasis VGG16 yang berjalan paralel dan masing masing mampu memproses satu modalitas MRI. Dengan kemampuan ini, memungkinkan model melakukan generalisasi dengan baik, bahkan dari jumlah kasus yang terbatas (Zhou, H., et al, 2021). Selain itu, metode ini juga mampu menjadi alat prediktif luaran klinis secara lebih spesifik tanpa mendikotomikan hasil skor mRS (misalnya $mRS \leq 2$ vs. >2 atau hidup vs. meninggal). PMFE-SN menunjukkan hasil yang menjanjikan: $F1_{macro} = 0,28$, $P_{macro} = 0,258$, $R_{macro} = 0,31$, dan $MAEM = 1,18$ setelah melewati proses augmentasi. Model ini berhasil memprediksi kelas minoritas seperti $mRS = 4$ dengan akurasi 67%. AUC per kelas juga mengunggulkan PMFE-SN, terutama untuk kelas 4 (AUC = 0,81).

Berbagai faktor dapat mempengaruhi tingkat akurasi dari analisis *deep learning*, berdasarkan tinjauan sistematis yang telah dilakukan oleh peneliti, beberapa faktor yang turut mempengaruhi akurasi diagnosis dan kemampuan prediktif dari *deep learning* adalah besaran sampel, tingkat homogenitas dari dataset, kombinasi pencitraan dengan variabel klinis, dan lainnya (Luo, J., Dai, P., He, Z., Huang, Z., Liao, S., & Liu, K, 2024). Melalui beberapa faktor ini, pada penelitian yang telah ditinjau menunjukkan peningkatan signifikansi akurasi seperti pada Liu dkk., (2023) yang mengkombinasikan dan pencitraan dan variabel klinis dalam bentuk *fused model* sehingga menghasilkan nilai akurasi yang cukup tinggi (0,91). Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, seperti Bayram dkk (2024) yang meninjau tentang potensi *deep learning* untuk menganalisis penyakit oklusi serebrovaskular berdasarkan hasil pencitraan MRI, peneliti lebih memperluas jangkauan data pencitraan seperti hasil MRI, CT Scan, maupun 4D CTP serta mengeksplorasi kemampuan *deep learning* lebih lanjut sebagai alat diagnostik dan prediktif luaran klinis pada pasien stroke iskemik (Bayram, B., Kunduracioglu, I., Ince, S., & Pacal, I, 2025).

Saran untuk penelitian berikutnya adalah dapat dilakukannya analisis seacara lebih komprehensif terkait bentuk aplikasi *deep learning* terutama bagi neurologis di Indonesia dan menilai tingkat efektifitasnya. Selain itu, penelitian lebih lanjut seperti analisis peran *deep learning* terhadap penyakit serebrovaskular lainnya dapat dilakukan, sehingga angka mortalitasnya dapat diturunkan.

KESIMPULAN

Tinjauan sistematis ini menunjukkan bahwa *deep learning* memiliki performa yang baik hingga sangat baik dalam memprediksi luaran fungsional stroke iskemik berdasarkan Modified Rankin Scale (mRS), dengan nilai AUC berkisar antara 0,75–0,92. Model *deep learning* terbukti lebih unggul dibandingkan metode konvensional, terutama ketika mengombinasikan data pencitraan dan variabel klinis. Meskipun demikian, tantangan terkait heterogenitas data dan interpretabilitas model masih perlu diperhatikan. Secara keseluruhan, *deep learning* berpotensi menjadi alat prediktif yang efektif dalam mendukung pengambilan keputusan klinis pada pasien stroke iskemik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan menyelesaikan penelitian ini, termasuk pada peserta yang telah bersedia berpartisipasi dalam penelitian hingga selesai. Terimakasih atas dukungan, inspirasi dan bantuan kepada semua pihak dalam membantu peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

Amador, K., Pinel, N., Winder, A. J., Fiehler, J., Wilms, M., & Forkert, N. D. (2025). *A cross-attention-based deep learning approach for predicting functional stroke outcomes using*

- 4D CTP imaging and clinical metadata. *Medical image analysis*, 99, 103381. <https://doi.org/10.1016/j.media.2024.103381>
- Bayram, B., Kunduracioglu, I., Ince, S., & Pacal, I. (2025). *A systematic review of deep learning in MRI-based cerebral vascular occlusion-based brain diseases*. *Neuroscience*, 568, 76–94. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.01.020>
- Borsos, B., Allaart, C. G., & van Halteren, A. (2024). *Predicting stroke outcome: A case for multimodal deep learning methods with tabular and CT Perfusion data*. *Artificial intelligence in medicine*, 147, 102719. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102719>
- Cui, L., Fan, Z., Yang, Y., Liu, R., Wang, D., Feng, Y., Lu, J., & Fan, Y. (2022). Deep learning in Ischemic Stroke Imaging Analysis: A Comprehensive Review. *BioMed research international*, 2022, 2456550. <https://doi.org/10.1155/2022/2456550>
- Fang, G., Huang, Z., & Wang, Z. (2022). *Predicting Ischemic Stroke Outcome Using Deep learning Approaches*. *Frontiers in genetics*, 12, 827522. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.827522>
- Global Burden of Disease Collaborative Network (2018). *Global Burden of Disease Study 2017*. USA: IHME, 1–7
- Jung, H. S., Lee, E. J., Chang, D. I., Cho, H. J., Lee, J., Cha, J. K., Park, M. S., Yu, K. H., Jung, J. M., Ahn, S. H., Kim, D. E., Lee, J. H., Hong, K. S., Sohn, S. I., Park, K. P., Kwon, S. U., Kim, J. S., Chang, J. Y., Kim, B. J., Kang, D. W., ... KOSNI Investigators (2024). *A Multimodal Ensemble Deep learning Model for Functional Outcome Prognosis of Stroke Patients*. *Journal of stroke*, 26(2), 312–320. <https://doi.org/10.5853/jos.2023.03426>
- Liu, Y., Yu, Y., Ouyang, J., Jiang, B., Yang, G., Ostmeier, S., Wintermark, M., Michel, P., Liebeskind, D. S., Lansberg, M. G., Albers, G. W., & Zaharchuk, G. (2023). *Functional Outcome Prediction in Acute Ischemic Stroke Using a Fused Imaging and Clinical Deep learning Model*. *Stroke*, 54(9), 2316–2327. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.123.044072>
- Luo, J., Dai, P., He, Z., Huang, Z., Liao, S., & Liu, K. (2024). Deep learning models for ischemic stroke lesion segmentation in medical images: A survey. *Computers in biology and medicine*, 175, 108509. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108509>
- Oliveira, G., Fonseca, A. C., Ferro, J., & Oliveira, A. L. (2023). Deep learning-Based Extraction of Biomarkers for the Prediction of the Functional Outcome of Ischemic Stroke Patients. *Diagnostics*, 13(24), 3604. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13243604>
- Osama, S., Zafar, K., & Sadiq, M. U. (2020). *Predicting Clinical Outcome in Acute Ischemic Stroke Using Parallel Multi-parametric Feature Embedded Siamese Network*. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 10(11), 858. <https://doi.org/10.3390/diagnostics10110858>
- Salaudeen, M., et al. (2024). *Understanding the Pathophysiology of Ischemic Stroke : The Basis of Current Therapies and Opportunity for new Ones*. *Biomolecules* 2024, 14(3), 305
- Samak, Z. A., Clatworthy, P., & Mirmehdi, M. (2022). FeMA: *Feature matching auto-encoder for predicting ischaemic stroke evolution and treatment outcome*. *Computerized medical imaging and graphics : the official journal of the Computerized Medical Imaging Society*, 99, 102089. <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2022.102089>
- Stahlschmidt, S.R., Ulfenborg, B., Synnergren, J., 2022. *Multimodal deep learning for biomedical data fusion: A review*. *Brief. Bioinform.* 23 (2), 1–15. <http://dx.doi.org/10.1093/BIB/BBAB569>.
- Wang, H., et al. (2020). Deep learning models for predicting ischemic stroke outcomes: A comprehensive review. *Journal of Clinical Neuroscience*, 71, 47–53.
- Xie, Y., Li, Z., & Zhao, X. (2021). *Deep learning for predicting functional outcomes in ischemic stroke: A review of current methodologies and clinical implications*. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 30(2), 105436.

- Yang, Y., & Guo, Y. (2024). *Ischemic stroke outcome prediction with diversity features from whole brain tissue using deep learning network*. *Frontiers in neurology*, 15, 1394879. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1394879>
- Yoo, A., et al. (2019). *Predicting stroke recovery with deep learning using clinical and imaging data*. *Stroke*, 50(5), 1310-1316.
- Yu, Y., et al. (2019). *A deep learning-based framework for predicting stroke outcomes using clinical and imaging data*. *Stroke and Vascular Neurology*, 4(4), 218-226
- Zhou, H., et al. (2021). *Multi-modal deep learning framework for ischemic stroke outcome prediction using imaging and clinical data*. *NeuroImage*, 228, 117684.