

## Implementasi *Deep Learning* dalam Pendeteksian Dini Penyakit Alzheimer

Imam Mulyana<sup>1</sup>, Binastya Anggara Sekti<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Teknik Informatika, Ilmu Komputer, Universitas Esa Unggul  
[mulyanaaimam6@gmail.com](mailto:mulyanaaimam6@gmail.com)

### Abstract

Alzheimer's Disease (AD), is a neurodegenerative condition that develops slowly and generally occurs in older people. The aim of this research is to optimize Deep Learning models so that they can process complex brain imaging data efficiently. The method used involves the use of a CNN (Convolutional Neural Network) network which is trained with a dataset of brain MRI images that have been processed and divided into subsets for training, validation and testing. The data used was taken from the Kaggle platform and processed using augmentation techniques with 'ImageDataGenerator'. The research results show that the implemented model is able to achieve high accuracy in detecting structural and functional changes in the brain related to Alzheimer's. The loss and accuracy curves monitored during the training process show a positive trend, with accuracy reaching over 96% in just seven epochs. The main conclusion of this research is that Deep Learning technology has great potential in early detection of Alzheimer's disease, enabling earlier and more effective interventions to prevent or slow the progression of this disease, as well as improving the quality of life of individuals at risk.

Keywords: deep learning, CNN, brain MRI, alzheimer's disease, and detection accuracy

### Abstrak

*Alzheimer Disease* (AD), adalah kondisi neurodegeneratif yang berkembang secara perlahan dan umumnya terjadi pada orang-orang yang lebih tua. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan model *Deep Learning* sehingga dapat memproses data pencitraan otak yang kompleks secara efisien. Metode yang digunakan melibatkan penggunaan jaringan CNN (*Convolutional Neural Network*) yang dilatih dengan dataset gambar MRI otak yang telah diproses dan dibagi menjadi subset untuk pelatihan, validasi, dan pengujian. Data yang digunakan diambil dari platform Kaggle dan diolah menggunakan teknik *augmentasi* dengan *Image Data Generator*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang diimplementasikan mampu mencapai akurasi tinggi dalam mendeteksi perubahan struktural dan fungsional pada otak yang berkaitan dengan Alzheimer. Kurva loss dan akurasi yang dipantau selama proses pelatihan menunjukkan tren yang positif, dengan akurasi mencapai lebih dari 96% hanya dalam tujuh epoch. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah bahwa teknologi *Deep Learning* memiliki potensi besar dalam mendeteksi dini penyakit Alzheimer, memungkinkan intervensi yang lebih awal dan efektif untuk mencegah atau memperlambat perkembangan penyakit ini, serta meningkatkan kualitas hidup individu yang berisiko.

Kata kunci: *deep learning*, CNN, MRI Otak, penyakit alzheimer, dan akurasi deteksi

---

### 1. Pendahuluan

Penyakit Alzheimer atau *Alzheimer Dises* (AD) adalah penyakit neurodegeneratif yang berkembang secara bertahap dan sering terjadi pada orang tua. Penyakit ini menyebabkan penurunan fungsi kognitif dan memori. Alzheimer ditandai oleh kerusakan dan kematian sel-sel otak yang mengakibatkan menurunnya kemampuan untuk berpikir, mengingat, dan melakukan aktivitas sehari-hari [1]. Seiring dengan berkembangnya penyakit, penderita Alzheimer akan menghadapi semakin banyak kesulitan dalam mengingat informasi baru, mengenali orang-orang dan tempat-tempat yang sebelumnya akrab, serta menjalankan aktivitas sehari-hari secara mandiri. Pada tahap yang lebih parah, penderita mungkin membutuhkan bantuan penuh untuk

perawatan diri dan aktivitas harian, karena kemampuan kognitif dan memori mereka terus menurun. Faktor genetik dapat mempengaruhi proses biologis yang mendasari penyakit Alzheimer. Namun, genetik hanyalah satu dari banyak faktor yang berperan. Faktor lingkungan dan gaya hidup juga turut berkontribusi terhadap risiko seseorang terkena Alzheimer. Semua faktor ini bekerja bersama-sama dalam meningkatkan atau mengurangi risiko perkembangan penyakit ini [2]. Penyakit Alzheimer berkembang dalam empat tahap. Pada tahap pertama, penderita mengalami gangguan memori jangka pendek dan perubahan kepribadian. Tahap kedua ditandai dengan penurunan lebih lanjut dalam memori dan kemampuan berpikir, terutama memori jangka pendek. Pada tahap ketiga, gangguan memori menjadi parah, termasuk kesulitan berbicara dan

mengenali orang terdekat. Di tahap keempat, penderita memerlukan bantuan penuh untuk aktivitas sehari-hari, dengan kemampuan bicara yang sangat terbatas [3].

Oleh karena itu, mendeteksi secara dini penurunan fungsi kognitif sangat penting karena memungkinkan dilakukannya intervensi awal untuk mencegah atau memperlambat munculnya penyakit Alzheimer. Hal ini memberikan kesempatan untuk mengelola kondisi lebih efektif dan meningkatkan kualitas hidup individu yang berisiko [4]. Penelitian menggunakan data pencitraan otak yang memiliki peran krusial dalam memahami penyebab penyakit Alzheimer, serta dalam meningkatkan diagnosis, prognosis, dan pengembangan pengobatannya. Teknik pencitraan otak *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) memungkinkan peneliti dan dokter untuk mengamati perubahan struktural dan fungsional di otak yang berhubungan dengan AD [5]. Teknik *Deep Learning* (DL) telah membawa perubahan signifikan dalam industri perawatan kesehatan, termasuk dalam deteksi penyakit Alzheimer. *Deep Learning* merupakan cabang dari *Machine Learning* (ML) yang menggunakan *neural networks* (jaringan saraf tiruan) dengan banyak lapisan (*deep neural networks*) untuk mempelajari representasi data yang kompleks [6].

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman dan kemampuan dalam mendeteksi secara dini serta mengobati penyakit Alzheimer yang merupakan gangguan progresif pada otak yang umumnya menyerang orang tua dan menyebabkan penurunan fungsi kognitif serta memori. Pentingnya deteksi dini terletak pada kemampuannya untuk memungkinkan intervensi awal yang dapat mencegah atau memperlambat perkembangan penyakit ini. Dengan menggunakan teknologi pencitraan otak *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), dokter dan peneliti dapat mengidentifikasi perubahan struktural dan fungsional di otak yang dapat membantu dalam memberikan penanganan yang lebih efektif. Penelitian ini memanfaatkan kemajuan dalam teknik *Deep Learning* yang mampu mengolah data kompleks dari pencitraan otak, untuk meningkatkan kemampuan diagnosis dini, prognosis, dan pengobatan penyakit Alzheimer.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Apa peran teknologi *Deep Learning* dalam mendeteksi penyakit Alzheimer melalui analisis data pencitraan otak?
2. Bagaimana model *Deep Learning* dapat dioptimalkan untuk memproses data pencitraan otak yang kompleks dalam konteks penyakit Alzheimer?
3. Mengapa deteksi dini penurunan fungsi kognitif penting dalam mencegah atau memperlambat munculnya penyakit Alzheimer?

Teknologi *Deep Learning* berperan penting dalam mendeteksi penyakit Alzheimer dengan kemampuannya untuk menganalisis data pencitraan otak secara

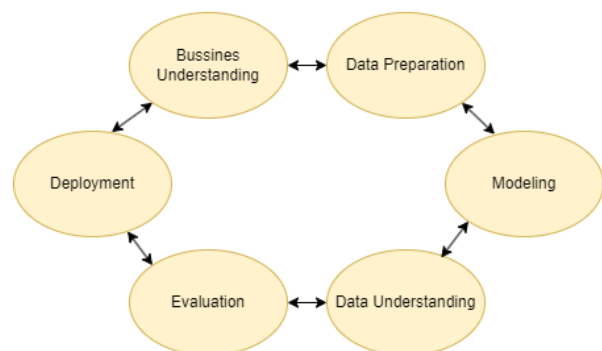
mendalam. Menggunakan jaringan syaraf tiruan seperti CNN (*Convolutional Neural Networks*), teknologi ini dapat mengenali pola-pola kompleks dalam gambar MRI otak yang tidak dapat diidentifikasi oleh metode tradisional. Dengan kemampuannya untuk belajar dari data besar, *Deep Learning* meningkatkan akurasi deteksi dan diagnosis penyakit Alzheimer, bahkan pada tahap-tahap awal ketika perubahan struktural mungkin belum jelas terlihat.

Model *Deep Learning* dapat dioptimalkan melalui beberapa pendekatan. Teknik *augmentasi* data seperti rotasi, pemotongan, dan perubahan pencahayaan dapat memperluas keragaman data pelatihan dan mengurangi risiko *overfitting*. Penyesuaian arsitektur model dengan menambah lapisan *konvolusi* dan *pooling* membantu dalam menangkap fitur-fitur penting dari gambar MRI. Selain itu, pengaturan *hyperparameter* dan penerapan teknik regulasi seperti dropout juga berkontribusi pada peningkatan kinerja model, membuatnya lebih efisien dalam mengenali pola-pola yang relevan dan mendeteksi penyakit lebih awal.

Deteksi dini penurunan fungsi kognitif sangat penting karena memungkinkan intervensi awal yang dapat mencegah atau memperlambat perkembangan penyakit Alzheimer. Dengan mengenali penurunan fungsi kognitif sebelum gejala klinis yang signifikan muncul, strategi perawatan dan perubahan gaya hidup dapat diterapkan untuk memperlambat progresi penyakit. Deteksi awal memberikan kesempatan bagi pasien untuk menerima perawatan yang lebih tepat waktu dan efektif, yang dapat meningkatkan kualitas hidup mereka dan memberikan lebih banyak waktu untuk beraktivitas serta berinteraksi dengan orang-orang terdekat.

## 2. Metode Penelitian

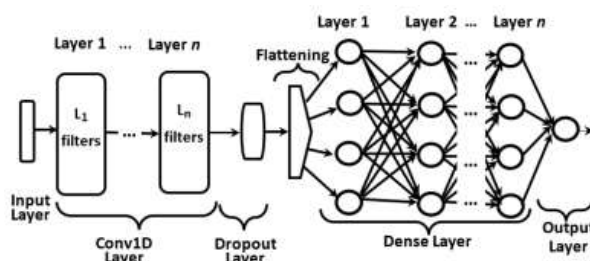
Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cross-Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM), yaitu sebuah model proses yang bersifat hierarkis dan iteratif [7]. Model ini menyediakan kerangka kerja untuk melakukan proyek penambangan data secara sistematis dan terstruktur.



Gambar 1 Model Pengembangan CRISP DM

Proses ini terdiri dari beberapa tahap yang saling berhubungan dimulai dari *business understanding*, *data*

*understanding, data preparation, modeling, evaluation, dan deployment.* Tahapan-tahapan ini dapat diulang dan ditinjau kembali sesuai kebutuhan, memungkinkan penyesuaian dan perbaikan yang berkelanjutan sepanjang proyek berlangsung. Adapun metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan eksperimen pemodelan *Deep Learning*. Peneliti mencari informasi tentang penggunaan *Convolutional Neural Networks* (CNN) dalam klasifikasi gambar dan penerapannya dalam pencitraan medis. *Convolutional Neural Networks* (CNN) sangat populer dalam tugas klasifikasi gambar karena kemampuannya untuk secara otomatis mempelajari dan mengekstrak fitur-fitur dari gambar [8]. CNN telah menunjukkan performa unggul dalam tugas-tugas klasifikasi gambar, seringkali melampaui algoritma pembelajaran mesin tradisional.



Gambar 2 Cara kerja CNN [9]

Cara kerjanya dimulai dengan input layer yang menerima data, diikuti oleh *convolutional layers* yang menerapkan filter untuk mengekstrak fitur relevan dari data. Setelah itu, pooling layers digunakan untuk mengurangi dimensi data, menjaga informasi penting sambil mengurangi jumlah komputasi. *Dropout layer* kemudian diterapkan untuk mencegah *overfitting* dengan secara acak menghilangkan beberapa neuron selama pelatihan. Selanjutnya, *dense layers* menghubungkan semua neuron dari lapisan sebelumnya ke semua neuron di lapisan berikutnya untuk membuat prediksi akhir. *Flattening layer* mengubah fitur maps menjadi vektor satu dimensi untuk diproses lebih lanjut oleh *dense layer*. Akhirnya, *output layer* menghasilkan hasil prediksi berdasarkan fitur yang telah diproses dan digabungkan oleh lapisan-lapisan sebelumnya [9]. Keunggulan utama CNN terletak pada kemampuannya untuk mengidentifikasi fitur-fitur kompleks dalam gambar, seperti tepi, sudut, dan tekstur, tanpa memerlukan proses rekayasa fitur yang dilakukan secara manual. Ini membuat CNN sangat efektif dalam mengenali pola-pola yang ada dalam data gambar dan menerapkannya untuk tugas-tugas klasifikasi [10].

Pencitraan medis ini mencakup berbagai teknologi yang digunakan untuk melihat bagian-bagian tertentu dari tubuh guna diagnosis dan perawatan medis. Teknologi CNN memungkinkan visualisasi fungsi jaringan atau organ untuk diprediksi berdasarkan data. Dengan bantuan pencitraan medis, dokter dapat melakukan diagnosis dan memberikan pengobatan yang tepat.

Selain itu, pencitraan medis berkontribusi bagi peneliti dalam melakukan analisis lanjutan [11]. Model CNN yang digunakan adalah model yang diawasi dan menggunakan gambar yang telah diproses sebelumnya untuk meningkatkan kinerja. Dalam prosesnya akan melibatkan beberapa fase utama, termasuk pengumpulan kumpulan data gambar MRI terkait Alzheimer, pra-pemrosesan gambar-gambar tersebut, pelatihan model secara bertahap, serta evaluasi kinerja. Evaluasi kinerja dilakukan dengan menguji model pada kumpulan data MRI yang berbeda dan belum pernah dilihat sebelumnya, untuk memastikan model dapat menggeneralisasi dengan baik pada data baru [12]. Pemeriksaan kinerja model akan dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, yaitu *Accuration* dan *Loss* untuk menilai secara keseluruhan efektivitas algoritma klasifikasi yang diusulkan [13]. Akurasi bekerja dengan cara mengukur seberapa baik model klasifikasi dalam mengidentifikasi kelas dengan benar, dihitung sebagai rasio antara jumlah prediksi benar dan total prediksi yang dibuat [14].

Dalam konteks penggunaan *Convolutional Neural Networks* (CNN), metrik ini membantu mengukur kemampuan model dalam mengklasifikasikan gambar secara akurat. Dengan menggabungkan metrik-metrik ini, peneliti dapat mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang seberapa baik CNN dalam melakukan tugas klasifikasi gambar medis, seperti mendeteksi penyakit Alzheimer dari gambar pencitraan otak [1].

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Business Understanding

Penyakit Alzheimer (AD) adalah gangguan neurodegeneratif yang menyebabkan penurunan fungsi kognitif dan memori secara progresif, sering kali mempengaruhi orang tua. Dalam konteks bisnis, terutama dalam industri perawatan kesehatan dan teknologi medis, penting untuk memahami tantangan yang ditimbulkan oleh penyakit ini serta menguraikan tujuan dalam yang dapat dipahami oleh khalayak luas [15]. Alzheimer dapat menyebabkan kesulitan signifikan dalam kehidupan sehari-hari, dan mendeteksi penyakit ini pada tahap awal sangat krusial untuk mengelola dan merawat pasien secara efektif. Dengan meningkatnya prevalensi Alzheimer, ada permintaan yang tinggi untuk solusi yang dapat meningkatkan deteksi dini dan pengelolaan penyakit. Teknologi pencitraan otak *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang berperan penting dalam memahami perubahan struktural dan fungsional yang terkait dengan Alzheimer. Namun, pengolahan dan analisis data dari pencitraan ini seringkali memerlukan metode canggih untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Dalam hal ini, teknik *Deep Learning* menggunakan *Convolutional Neural Networks* (CNN) menawarkan potensi besar untuk meningkatkan deteksi dan diagnosis penyakit Alzheimer. CNN dapat memproses data

gambar kompleks dengan cara yang tidak bisa dilakukan oleh metode tradisional, meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi perubahan otak yang terkait dengan penyakit. Integrasi teknologi ini dalam proses diagnosis medis dapat membantu mempercepat pengenalan penyakit, memungkinkan intervensi lebih awal, dan akhirnya meningkatkan kualitas hidup pasien. Dengan memahami kebutuhan untuk deteksi dini dan pengelolaan penyakit Alzheimer, serta potensi teknologi pembelajaran mendalam dalam analisis data pencitraan otak, bisnis dapat fokus pada pengembangan dan implementasi solusi yang inovatif. Hal ini tidak hanya akan memenuhi tuntutan medis yang berkembang tetapi juga berkontribusi pada kemajuan dalam perawatan kesehatan dan pengelolaan penyakit neurodegeneratif.

### 3.2 Data Understanding

Dalam penelitian terkait penyakit Alzheimer (AD), menganalisis, memahami, dan menafsirkan data yang dimiliki selalu menjadi aspek yang krusial untuk memastikan bahwa analisis dan solusi yang dihasilkan adalah akurat dan relevan [16]. Data yang digunakan dalam studi ini terutama berasal dari pencitraan otak, yang memberikan informasi tentang struktur dan fungsi otak pasien. Data utama yang dianalisis meliputi gambar hasil pencitraan menggunakan teknik *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). Gambar-gambar ini memberikan wawasan tentang perubahan morfologis dan fungsional di otak yang berhubungan dengan Alzheimer. Dalam konteks ini, data pencitraan otak berisi MRI dari 4 kategori, yaitu: *Mild Demented* (Demensia Ringan) dengan jumlah 896 foto, *Moderate Demented* (Demensia Sedang) dengan jumlah 64 foto, *Non Demented* (Tidak Demensia) dengan jumlah 3200 foto, *Very Mild Demented* (Demensia Sangat Ringan) dengan jumlah 2240 foto. Data merupakan data uji coba yang bersumber dari website kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/sachinkumar413/alzheimer-mri-dataset>), hal ini dilakukan karena penelitian hanya berfokus pada keefektifan implementasi *Deep Learning* dalam pendeteksian dini penyakit alzheimer.

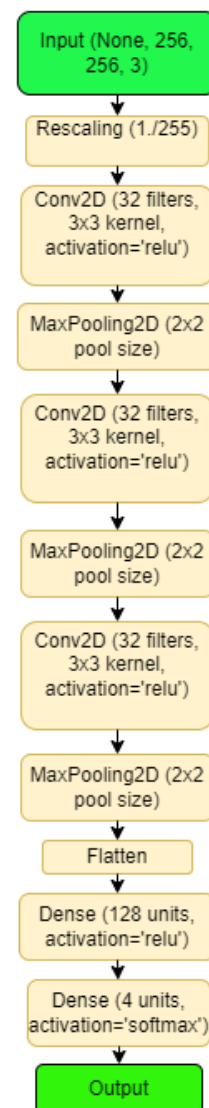
### 3.3 Data Preparation

*Data Preparation* adalah tahap awal yang krusial dalam analisis data yang bertujuan untuk mempersiapkan data mentah agar siap digunakan dalam proses pemodelan dan analisis selanjutnya. Persiapan data yang matang dan teliti sangatlah penting ketika menerapkan pembelajaran mesin, karena kualitas data yang digunakan akan sangat mempengaruhi hasil dan performa model yang dihasilkan [17]. Dalam proyek ini, langkah pertama adalah mengimpor library penting seperti *Tensor Flow* untuk pengembangan model pembelajaran mesin dan *Matplotlib* untuk visualisasi data. Dataset gambar MRI yang berkaitan dengan penyakit Alzheimer diunduh dari Kaggle, sebuah platform yang menyediakan berbagai set data. Dataset ini kemudian diproses menggunakan *Image Data Generator*, sebuah alat yang mempermudah manipulasi

dan *augmentasi* data gambar. Selanjutnya data gambar dibagi menjadi tiga subset utama: data pelatihan (80%), data validasi (10%), dan data pengujian (10%). Pembagian ini dilakukan untuk memastikan bahwa model dapat dilatih dengan data yang cukup, divalidasi secara berkala untuk menghindari *overfitting* dan diuji secara menyeluruh untuk menilai performanya. Dengan memisahkan data ke dalam subset yang berbeda, proses ini membantu dalam mengevaluasi model secara objektif dan memastikan bahwa hasil yang diperoleh tidak hanya berlaku untuk data yang sudah dilihat selama pelatihan, tetapi juga untuk data baru yang belum pernah ditemui sebelumnya.

### 3.4 Modeling

Model yang digunakan dalam proyek ini adalah *Sequential model* yang terdiri dari beberapa lapisan *konvolusi* dan *pooling* untuk mengekstrak fitur dari gambar.



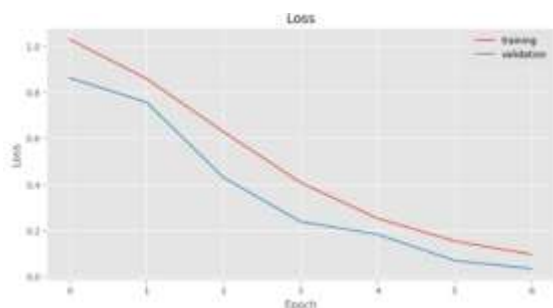
Gambar 3 Sequential Model



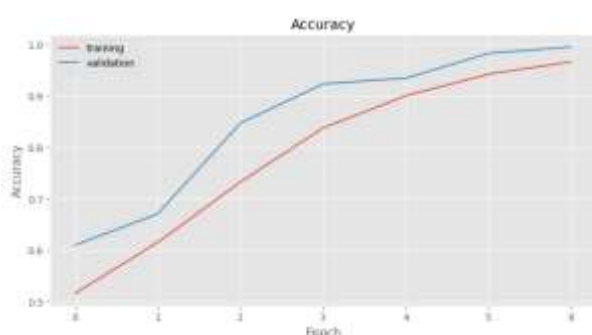
Model ini diawali dengan lapisan *Rescaling* untuk menormalisasi data gambar, diikuti oleh beberapa lapisan *Conv2D* dengan aktivasi *ReLU* dan lapisan *MaxPooling2D* untuk mengurangi dimensi fitur. Setelah lapisan *konvolusi*, model ini menggunakan lapisan *Flatten* untuk mengubah data menjadi bentuk yang dapat diproses oleh lapisan *dense*. Akhirnya, ada beberapa lapisan *dense* dengan aktivasi *ReLU* dan satu lapisan *output* dengan 4 neuron yang menggunakan aktivasi *softmax* untuk klasifikasi. Model ini dikompilasi menggunakan *optimizer Adam* dan *loss function Sparse Categorical Crossentropy*. *Callback* khusus dibuat untuk menghentikan pelatihan jika akurasi pelatihan dan validasi mencapai lebih dari 96%. Hasilnya sangat memuaskan di mana model berhasil mencapai akurasi diatas 96% hanya dalam 7 kali *epoch*.

### 3.5 Evaluation

Setelah pelatihan, model dievaluasi dengan memplot kurva loss dan akurasi untuk data pelatihan dan validasi selama 10 *epoch*. Plot ini membantu dalam memahami bagaimana model belajar dari data dan seberapa baik model ini memprediksi pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya.



Gambar 4 Kurva Loss



Gambar 5 Kurva Akurasi

Pada gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa kurva loss menunjukkan tren penurunan yang baik, dan kurva akurasi menunjukkan peningkatan yang signifikan, hal ini menandakan bahwa model belajar dengan baik dan memiliki kemampuan generalisasi yang memadai yang dibuktikan dengan akurasi yang tinggi hanya dalam 7 *epoch*. Evaluasi ini memberikan gambaran yang

komprehensif tentang performa model dalam tugas klasifikasi gambar.

## 4. Kesimpulan

Teknologi *Deep Learning* memegang peran yang sangat penting dalam mendeteksi penyakit Alzheimer melalui analisis data pencitraan otak. Dengan menggunakan jaringan CNN yang canggih, *Deep Learning* mampu secara otomatis mempelajari dan mengekstraksi fitur-fitur kompleks dari gambar MRI otak, yang sangat membantu dalam diagnosis dini penyakit ini. Model *Deep Learning* dapat dioptimalkan untuk memproses data pencitraan otak yang sangat kompleks dengan mengimpor *library* penting seperti *Tensor Flow* dan menggunakan teknik seperti *Image Data Generator* untuk *augmentasi* dan pemrosesan data yang lebih lanjut. Optimalisasi ini memungkinkan model untuk mengidentifikasi perubahan struktural dan fungsional pada otak secara lebih akurat dan efisien. Deteksi dini penurunan fungsi kognitif sangat penting dalam konteks penyakit Alzheimer karena memungkinkan intervensi awal yang dapat mencegah atau memperlambat perkembangan penyakit ini, memberikan kesempatan untuk pengelolaan kondisi yang lebih efektif dan secara signifikan meningkatkan kualitas hidup individu yang berisiko terkena Alzheimer. Implementasi teknologi ini tidak hanya menjanjikan kemajuan dalam diagnosis medis tetapi juga membuka jalan bagi penelitian lanjutan dan inovasi di bidang kesehatan digital.

## Daftar Rujukan

- [1] A. D. Arya *et al.*, "A systematic review on machine learning and deep learning techniques in the effective diagnosis of Alzheimer's disease," *Brain Informatics*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s40708-023-00195-7.
- [2] M. G. Alsubaie, S. Luo, and K. Shaukat, "Alzheimer's Disease Detection Using Deep Learning on Neuroimaging: A Systematic Review," *Mach. Learn. Knowl. Extr.*, vol. 6, no. 1, pp. 464–505, 2024, doi: 10.3390/make6010024.
- [3] G. Kiss, "Early Detection of Alzheimer's Disease Using Artificial Intelligence," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 237, no. 2021, pp. 485–492, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.05.131.
- [4] V. Vimbi, N. Shaffi, and M. Mahmud, "Interpreting artificial intelligence models: a systematic review on the application of LIME and SHAP in Alzheimer's disease detection," *Brain Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 1–29, 2024, doi: 10.1186/s40708-024-00222-1.
- [5] K. Ning, P. B. Cannon, J. Yu, S. Shenoi, L. Wang, and J. Sarkar, "3D convolutional neural networks uncover modality-specific brain-

- imaging predictors for Alzheimer's disease sub-scores," *Brain Informatics*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s40708-024-00218-x.
- [6] F. Hajamohideen *et al.*, "Four-way classification of Alzheimer's disease using deep Siamese convolutional neural network with triplet-loss function," *Brain Informatics*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1186/s40708-023-00184-w.
- [7] O. Niakšu, "CRISP Data Mining Methodology Extension for Medical Domain," *Balt. J. Mod. Comput.*, vol. 3, no. 2, pp. 92–109, 2015.
- [8] M. I. Vawda, R. Lottering, O. Mutanga, K. Peerbhay, and M. Sibanda, "Comparing the Utility of Artificial Neural Networks (ANN) and Convolutional Neural Networks (CNN) on Sentinel-2 MSI to Estimate Dry Season Aboveground Grass Biomass," *Sustain.*, vol. 16, no. 3, 2024, doi: 10.3390/su16031051.
- [9] K. Iheanetu and K. C. Oibileke, "Short-Term Forecasting of Photovoltaic Power Using Multilayer Perceptron Neural Network, Convolutional Neural Network, and k-Nearest Neighbors' Algorithms," *Optics*, vol. 5, no. 2, pp. 293–309, 2024, doi: 10.3390/opt5020021.
- [10] M. E. Hasan and A. Wagler, "New Convolutional Neural Network and Graph Convolutional Network-Based Architecture for AI Applications in Alzheimer's Disease and Dementia-Stage Classification," *AI*, vol. 5, no. 1, pp. 342–363, 2024, doi: 10.3390/ai5010017.
- [11] S. Wang *et al.*, "Advances in data preprocessing for bio-medical data fusion: An overview of the methods, challenges, and prospects," *Inf. Fusion*, vol. 76, no. May, pp. 376–421, 2021, doi: 10.1016/j.inffus.2021.07.001.
- [12] A. Naseer, T. Yasir, A. Azhar, T. Shakeel, and K. Zafar, "Computer-Aided Brain Tumor Diagnosis: Performance Evaluation of Deep Learner CNN Using Augmented Brain MRI," *Int. J. Biomed. Imaging*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/5513500.
- [13] H. M. Ahmed, Z. F. Elsharkawy, and A. S. Elkorany, "Alzheimer disease diagnosis for magnetic resonance brain images using deep learning neural networks," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 82, no. 12, pp. 17963–17977, 2023, doi: 10.1007/s11042-022-14203-1.
- [14] J. Suntoro, A. Ilham, and H. A. D. Rani, "New Method Based Pre-Processing to Tackle Missing and High Dimensional Data of CRISP-DM Approach," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1471, no. 1, pp. 1–10, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1471/1/012012.
- [15] C. F. A. Richard O'Hara CMA, "a Data Analytics Mindset With Crisp-Dm," *Strateg. Financ.*, vol. 104, no. 8, pp. 38–45, 2023.
- [16] C. Qiao, Y. Chen, Q. Guo, and Y. Yu, "Understanding science data literacy: a conceptual framework and assessment tool for college students majoring in STEM," *Int. J. STEM Educ.*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s40594-024-00484-5.
- [17] B. Yang, R. Nazari, D. Elmo, D. Stead, and E. Eberhardt, "Data preparation for machine learning in rock engineering," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1124, no. 1, pp. 1–8, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1124/1/012072.