

# Identifikasi Parasit Malaria Berbasis Web Menggunakan CNN pada Citra Sel Darah

Baiq Dwi Ningrum Pristiani<sup>1</sup>, M. Riko Anshori Prasetya<sup>2</sup>, Ahmad Hidayat<sup>3</sup>, Husni Naparin<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Sari Mulia, Banjarmasin, Indonesia

<sup>4</sup>Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Sari Mulia, Banjarmasin, Indonesia

Email: <sup>1,\*</sup>dwiningrumpristiani@gmail.com, <sup>2</sup>riko.anshori@gmail.com, <sup>3</sup>ayat5621@gmail.com,

<sup>4</sup>1naparinhusni@gmail.com

<sup>\*</sup>) Email Penulis Utama

**Abstrak**— Malaria adalah penyakit menular yang umum di daerah tropis dan subtropis, yang disebabkan oleh infeksi parasit plasmodium melalui gigitan nyamuk Anopheles. Penyakit ini berisiko tinggi menyebabkan kematian, terutama pada kelompok rentan seperti bayi, balita, dan ibu hamil. Data Kementerian Kesehatan Indonesia menunjukkan peningkatan signifikan kasus malaria dari 304.607 kasus pada tahun 2021 menjadi 443.530 kasus pada tahun 2022. Meskipun pemeriksaan mikroskopis akurat dan murah, namun membutuhkan tenaga medis yang berpengalaman dan memakan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, pengembangan metode deteksi otomatis parasit malaria menjadi penting untuk mempercepat diagnosis dan meningkatkan akurasi. Penelitian ini bertujuan untuk membangun sistem deteksi malaria menggunakan citra sel darah dengan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) berbasis web. Data citra sel darah diambil dari situs kaggle.com, setelah itu dilakukan data preprocessing berupa image resizing dan data augmentation. Dataset dibagi menjadi data training dan validation dengan rasio 80% untuk data training dan 20% untuk data validation. Model CNN ini terdiri dari beberapa lapisan seperti Conv2D, MaxPooling2D, Flatten, dan Dense, digunakan untuk klasifikasi citra sel darah. Model yang sudah dibuat dilatih menggunakan optimizer *adam* dan loss function *categorical\_crossentropy* mencapai akurasi sebesar 96.93%. Penerapan teknik augmentasi data terbukti meningkatkan akurasi model. Web berbasis Flask dirancang untuk memungkinkan pengguna mengunggah citra sel darah dan menerima hasil deteksi secara cepat dan akurat. Sistem ini diharapkan membantu tenaga medis dan masyarakat di daerah endemik malaria dalam mendapatkan diagnosis yang cepat dan tepat, terutama di wilayah dengan akses terbatas terhadap fasilitas laboratorium dan tenaga ahli. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi *deep learning* dan aplikasi web memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi diagnosis malaria di dunia nyata.

**Kata Kunci:** Malaria, Deep Learning, CNN, Deteksi Otomatis, Web

**Abstract**— Malaria is a common infectious disease in tropical and subtropical regions, caused by infection with the plasmodium parasite through the bite of Anopheles mosquitoes. The disease has a high risk of causing death, especially in vulnerable groups such as infants, toddlers, and pregnant women. Data from the Indonesian Ministry of Health shows a significant increase in malaria cases from 304,607 cases in 2021 to 443,530 cases in 2022. Although microscopic examination is accurate and inexpensive, it requires experienced medical personnel and takes a long time. Therefore, the development of automated detection methods for malaria parasites is important to speed up diagnosis and improve accuracy. This research aims to build a malaria detection system using blood cell images with a web-based Convolutional Neural Network (CNN) algorithm. Blood cell image data is taken from the kaggle.com site, after which preprocessing data is carried out in the form of image resizing and data augmentation. The dataset is divided into training and validation data with a ratio of 80% for training data and 20% for validation data. This CNN model consists of several layers such as Conv2D, MaxPooling2D, Flatten, and Dense, used for blood cell image classification. The model was trained using adam optimizer and loss function *categorical\_crossentropy* and achieved an accuracy of 96.93%. The application of data augmentation techniques was shown to improve the accuracy of the model. A Flask-based web was designed to allow users to upload blood cell images and receive detection results quickly and accurately. This system is expected to help medical personnel and communities in malaria endemic areas in obtaining a fast and precise diagnosis, especially in areas with limited access to laboratory facilities and experts. This research shows that the integration of deep learning technology and web applications has great potential in improving the efficiency of malaria diagnosis in the real world.

**Keywords:** Malaria, Deep Learning, CNN, Automatic Detection, Web

## 1. PENDAHULUAN

Malaria adalah salah satu penyakit paling umum di wilayah tropis dan sub-tropis, disebabkan oleh infeksi parasit *plasmodium* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles*. Penyakit ini menimbulkan risiko kesehatan yang serius, terutama pada kelompok rentan seperti bayi, balita, dan ibu hamil, yang berisiko tinggi mengalami komplikasi atau bahkan kematian. Malaria memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan masyarakat, mengingat penyebarannya yang luas dan tingkat morbiditas serta mortalitas yang tinggi [1]. Menurut data dari Kementerian Kesehatan Indonesia, jumlah kasus malaria mengalami peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2021, tercatat ada 304.607 kasus positif malaria di Indonesia, sementara pada tahun 2022 jumlah kasus meningkat menjadi 443.530, yang menunjukkan lonjakan sebesar 36,29% dibandingkan tahun sebelumnya. Peningkatan ini menyoroti pentingnya tindakan preventif dan diagnostik yang lebih efektif untuk

mengendalikan penyebaran malaria [2]. Deteksi malaria yang cepat dan tepat menjadi salah satu prioritas yang ingin diselesaikan oleh pemerintah dalam beberapa tahun terakhir. Komitmen ini tercermin dalam berbagai program dan inisiatif yang dilaksanakan oleh pemerintah untuk menurunkan angka kasus malaria di Indonesia [3].

Saat ini, metode utama untuk mendiagnosis malaria adalah melalui pemeriksaan mikroskopis, yang dilakukan dengan mengamati sampel darah di bawah mikroskop untuk mendeteksi keberadaan parasit *plasmodium*. Meskipun metode ini dianggap cukup akurat dan ekonomis, pemeriksaan mikroskopis memerlukan tenaga medis yang terlatih dan berpengalaman. Proses ini juga bisa memakan waktu yang cukup lama, yang bisa menjadi kendala dalam situasi darurat di mana diagnosis cepat sangat dibutuhkan. Oleh karena itu, pengembangan metode otomatis untuk mendeteksi parasit malaria dalam citra sel darah menjadi sangat penting. Metode otomatis ini dapat mempercepat proses diagnosis dan meningkatkan akurasi hasil, yang sangat dibutuhkan di area dengan keterbatasan sumber daya medis [4].

Deteksi parasit malaria dengan metode mikroskopis tradisional biasanya memerlukan waktu antara 30 hingga 60 menit, yang mencakup proses pengambilan sampel darah, persiapan dan pewarnaan sampel, serta pemeriksaan mikroskopis oleh teknisi laboratorium yang berpengalaman. Meskipun metode ini dikenal cukup akurat, prosesnya membutuhkan keterampilan khusus dan waktu yang cukup lama, terutama ketika harus menangani banyak sampel sekaligus [5]. Sebaliknya, penggunaan sistem berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk menganalisis citra sel darah dapat mempercepat proses deteksi secara signifikan. Dengan model CNN, hasil deteksi dapat diperoleh dalam hitungan detik hingga beberapa menit setelah gambar diinput, karena sistem ini mampu memproses banyak gambar secara bersamaan dan memberikan hasil yang konsisten tanpa memerlukan intervensi manual. Keunggulan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam proses diagnostik tetapi juga mengurangi beban kerja tenaga medis, memungkinkan mereka untuk lebih fokus pada perawatan pasien [6].

Masalah dalam deteksi parasit malaria dapat diatasi melalui teknik klasifikasi citra. Klasifikasi citra melibatkan deteksi dan identifikasi objek pada permukaan bumi menggunakan citra satelit, dengan cara mengenali objek-objek tersebut berdasarkan unsur spektral, spasial, dan kondisi temporalnya [7]. Salah satu metode yang dapat diterapkan dalam klasifikasi citra adalah teknik *deep learning*, khususnya menggunakan *Convolutional Neural Networks* (CNN). CNN adalah tipe jaringan saraf yang khusus dirancang untuk memproses data gambar. Metode ini mampu mempelajari fitur kompleks dalam citra secara otomatis, menerima input berupa gambar, mengidentifikasi berbagai aspek atau objek dalam gambar, dan membedakan antara gambar yang satu dengan yang lainnya [8].

*Deep learning* menjadi salah satu teknik yang dapat digunakan dalam membangun suatu sistem pendeteksi penyakit malaria yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan sel darah yang terinfeksi malaria (*infected*) dan tidak terinfeksi malaria (*uninfected*) [9]. Sistem pendeteksi parasit malaria dapat diintegrasikan ke dalam *platform* berbasis *web*, dengan mengintegrasikan model ke dalam sebuah web dapat memberikan aksesibilitas yang luas, memudahkan tenaga medis dan peneliti untuk mengakses sistem dari berbagai perangkat tanpa perlu menginstal perangkat lunak tambahan [10].

*Deep learning* merupakan salah satu bidang dari *machine learning* yang memanfaatkan jaringan syaraf tiruan (*neural network*) untuk menyelesaikan permasalahan dengan dataset yang berukuran besar. Salah satu algoritma yang dapat digunakan dalam mengklasifikasikan data gambar adalah *Convolutional Neural Network* (CNN)[11] [12]. Pentingnya pemanfaatan *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam diagnosis sebuah citra telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Rabihtul Adawiah Hasyani, Silvana Maretha Simbolon, Yasmin Mufida dan Yolanda Ester Berliana Ritonga yang berjudul “Klasifikasi Malaria melalui Penggunaan *Convolutional Neural Network* pada Citra Sel Darah” dengan menggunakan *dataset* yang berjumlah 2400 gambar sel darah yang dibagi menjadi 1350 *data training*, 450 *data validation* dan 600 *data testing*, melibatkan 4 *convolutional layer*, dan 50 *epoch* menghasilkan tingkat akurasi sebesar 94,33% tanpa augmentasi dan 95,99% dengan augmentasi [13].

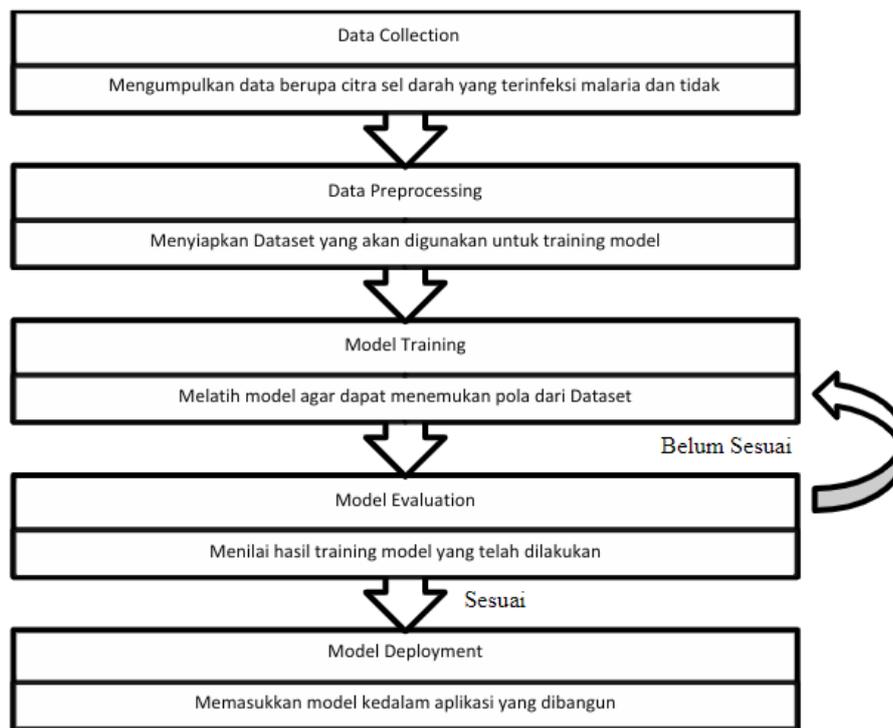
Penelitian ini menjawab GAP yang ada dalam literatur dengan memperluas penerapan teknik *deep learning*, khususnya *Convolutional Neural Networks* (CNN), dalam skala yang lebih besar melalui augmentasi data yang lebih ekstensif dan integrasi dengan platform web berbasis *flask*, sehingga memungkinkan diagnosis malaria secara *real-time* di lokasi dengan akses terbatas. Kontribusi signifikan dari penelitian ini mencakup peningkatan akurasi deteksi malaria melalui penerapan augmentasi data yang lebih luas dan penggunaan arsitektur CNN yang lebih dalam, yang menghasilkan tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan studi sebelumnya. Selain itu, integrasi sistem deteksi ke dalam platform web berbasis dapat meningkatkan aksesibilitas bagi pengguna di daerah-daerah dengan fasilitas medis terbatas, memungkinkan mereka untuk menggunakan alat diagnosis dengan lebih mudah dan cepat. Sistem ini juga meningkatkan efisiensi diagnostik dengan mempercepat proses diagnosis dan mengurangi beban kerja tenaga medis, sehingga mereka dapat lebih fokus pada perawatan pasien. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menutup GAP yang ada dalam literatur sebelumnya tetapi juga menawarkan solusi praktis yang dapat diterapkan di dunia nyata untuk meningkatkan deteksi dan diagnosis malaria di daerah yang sangat membutuhkan.

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk tidak hanya membangun sistem deteksi otomatis untuk penyakit malaria, tetapi juga untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi diagnosis melalui pengembangan model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dioptimalkan dengan teknik augmentasi data dan didukung oleh integrasi dengan platform web berbasis Flask. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang telah menggunakan CNN untuk klasifikasi citra sel darah, penelitian ini memperkenalkan beberapa inovasi, termasuk penggunaan dataset yang lebih besar dan lebih beragam, serta implementasi augmentasi data yang lebih komprehensif untuk meningkatkan generalisasi model. Selain itu, sistem ini dirancang agar dapat diakses secara luas melalui platform web, memberikan kemampuan diagnostik yang cepat dan mudah digunakan di daerah dengan keterbatasan fasilitas medis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mereplikasi pendekatan sebelumnya, tetapi juga memperluas dan mengembangkan metodologi untuk menghasilkan solusi yang lebih efektif dan praktis dalam konteks dunia nyata.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alur Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan metodologis yang mencakup jenis penelitian Eksperimental. Penelitian Eksperimental bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja algoritma Convolutional Neural Network (CNN) dalam mengklasifikasikan citra sel darah ke dalam dua kategori, yaitu *infected* dan *uninfected*. Tahapan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan dataset citra sel darah yang mencakup kedua kategori tersebut, pelatihan model menggunakan algoritma CNN, serta evaluasi kinerja model dengan metrik seperti akurasi, presisi dan recall. Penelitian ini melibatkan serangkaian tahapan yang saling terkait dan berurutan untuk mencapai hasil yang diinginkan, di mana setiap tahapan saling berhubungan dengan tahapan sebelumnya dan berikutnya. Penjelasan rinci mengenai tahapan-tahapan tersebut dapat ditemukan dalam Gambar 1 yang disertakan.



**Gambar 1.** Alur Penelitian

1. *Data Collection*  
Pengumpulan data berupa gambar dengan format jpg yang diperoleh melalui situs kaggle. Data yang didapatkan sudah dibagi menjadi dua kelas yaitu *infected* dan *uninfected*.
2. *Data Preprocessing*  
*Preprocessing* dilakukan untuk meningkatkan kualitas data melalui *resizing* agar semua gambar memiliki dimensi yang konsisten dan data augmentation untuk membuat variasi tambahan dalam dataset pelatihan dengan menerapkan transformasi sederhana pada gambar. Data yang telah diproses kemudian dibagi menjadi data training dan data validation dengan rasio 80:20 untuk memastikan model machine

learning mendapatkan sejumlah besar data untuk pembelajaran, sementara sebagian kecil data digunakan untuk pengujian guna mengevaluasi kinerja model.

3. *Model Training*

Tahap Selanjutnya proses pembuatan model menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) dengan beberapa layer seperti Conv2D Layer, MaxPooling2D Layer, Flatten Layer, dan Dense Layer.

4. *Model Evaluation*

Setelah model dilatih, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi untuk mengukur kinerjanya. Evaluasi ini dilakukan dengan menggunakan data yang tidak digunakan selama proses pelatihan model. Proses evaluasi mencakup perhitungan metrik-metrik kinerja seperti akurasi, presisi dan recall untuk menilai seberapa baik model dalam mengklasifikasikan data.

5. *Model Deployment*

Setelah model dievaluasi, maka selanjutnya model dapat dideploy untuk digunakan dalam aplikasi Identifikasi parasit malaria yang diberi nama MalaDect.

## 2.2 Malaria

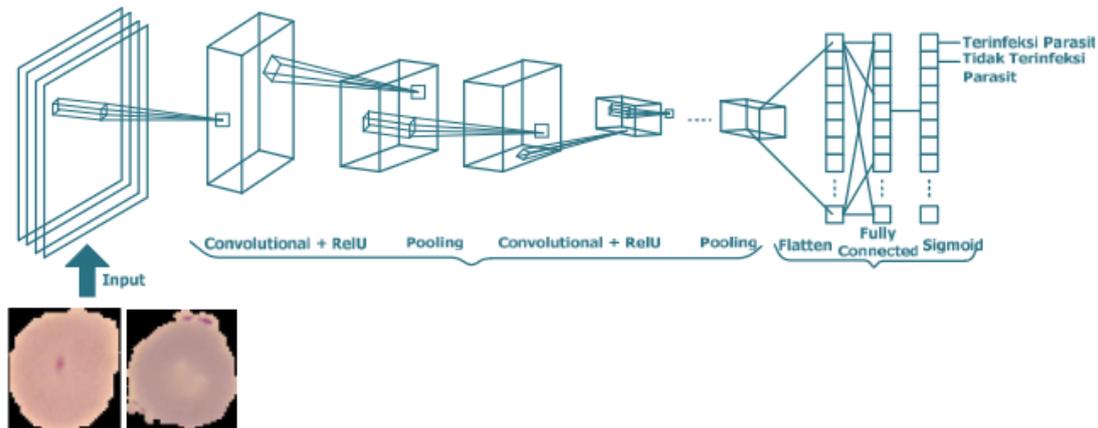
Malaria adalah penyakit menular yang disebarkan oleh gigitan nyamuk Anopheles dan dapat mempengaruhi orang dari segala usia. Lebih dari 50% populasi dunia tinggal di daerah endemik malaria, yang menyebabkan banyak kematian, biaya perawatan medis tinggi, dan kehilangan pekerjaan di negara berkembang seperti Indonesia. Nyamuk Anopheles yang hidup lama dan sering menggigit manusia adalah kondisi ideal bagi parasit malaria untuk menyelesaikan siklus hidupnya dan menjadi menular. Faktor lingkungan, seperti suhu, sangat mempengaruhi kecepatan perkembangan parasit dalam tubuh nyamuk, yang menjelaskan mengapa penularan malaria meningkat menjelang musim hujan [14]. Meskipun semua orang dapat terkena malaria, beberapa memiliki kekebalan bawaan atau didapat. Kelompok yang paling rentan adalah anak balita, wanita hamil, dan orang nonimun seperti pengunjung, transmigran, dan wisatawan.

## 2.3 Deep Learning

Salah satu cabang dari machine learning adalah deep learning, yang menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk menangani masalah dengan dataset yang sangat besar dan kompleks. Teknik deep learning menawarkan struktur yang sangat kuat untuk pembelajaran supervisi, memungkinkan model untuk belajar dari data berlabel dengan lebih efisien. Dalam konteks citra medis, seperti citra sel darah untuk mendeteksi parasit malaria, deep learning sangat berguna karena kemampuannya untuk mengekstraksi fitur-fitur kompleks dari data gambar yang mungkin tidak terlihat oleh metode tradisional. Dengan menambahkan lapisan-lapisan tambahan dalam jaringan syaraf tiruan, model deep learning, seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), dapat menggambarkan data gambar berlabel dengan lebih baik. Hal ini sangat penting dalam pembuatan model untuk mendeteksi parasit malaria, karena parasit ini dapat muncul dalam berbagai bentuk dan ukuran, serta dapat berada dalam berbagai tahapan perkembangan yang berbeda di dalam sel darah. CNN mampu mengidentifikasi pola-pola yang relevan dan membedakan antara sel darah yang terinfeksi dan yang tidak terinfeksi dengan akurasi tinggi [15].

## 2.4 Convolutional Neural Network

*Convolutional Neural Network* (CNN) adalah jenis jaringan saraf tiruan yang dirancang khusus untuk memproses data berbentuk grid, seperti citra. CNN sangat efektif dalam tugas-tugas pengenalan pola dan klasifikasi gambar karena kemampuannya dalam menangkap dan menganalisis fitur-fitur spasial melalui penggunaan lapisan-lapisan konvolusi. Pada penelitian ini, CNN digunakan untuk mendeteksi penyakit malaria melalui analisis citra sel darah. Proses ini melibatkan beberapa langkah utama, termasuk pemrosesan awal citra, ekstraksi fitur, dan klasifikasi. Dalam pemrosesan awal, citra sel darah dipersiapkan dengan teknik augmentasi untuk meningkatkan kualitas dan variasi data. Ekstraksi fitur dilakukan oleh lapisan-lapisan konvolusi pada CNN yang secara otomatis mengidentifikasi karakteristik penting dari citra, seperti tekstur dan pola yang mungkin menunjukkan keberadaan parasit malaria. Penggunaan CNN dalam deteksi malaria telah terbukti efektif dalam berbagai penelitian sebelumnya, misalnya penelitian yang dilakukan oleh Rajaraman dkk, menunjukkan bahwa model CNN yang dilatih dengan citra sel darah dapat mencapai tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi parasit malaria [16]. Penelitian Liang dkk, juga mengonfirmasi bahwa CNN dapat secara akurat membedakan antara sel darah yang terinfeksi dan tidak terinfeksi dengan menggunakan dataset citra mikroskopis [17]. Tipikal arsitektur CNN pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Tipikal Arsitektur CNN

Model CNN ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu lapisan konvolusi bertugas mengekstraksi fitur penting dari gambar untuk menangkap detail yang lebih mendalam. Setelah setiap operasi konvolusi, fungsi aktivasi ReLU diterapkan untuk memperkenalkan non-linearitas dan mempelajari hubungan kompleks dalam data. Lapisan pooling, khususnya max pooling mengurangi dimensi spasial peta fitur untuk mengurangi jumlah parameter dan menghindari *overfitting*. Peta fitur yang dihasilkan kemudian diubah menjadi vektor satu dimensi oleh lapisan Flatten untuk diproses lebih lanjut. Lapisan fully connected kemudian menganalisis fitur yang diekstraksi dan membuat keputusan klasifikasi, menggunakan ReLU untuk lapisan tersembunyi dan Sigmoid untuk lapisan output, yang memberikan probabilitas biner apakah sel darah terinfeksi malaria atau tidak.

## 2.5 Web

Dalam konteks penelitian ini, dikembangkan sebuah sistem deteksi penyakit malaria berbasis web yang memanfaatkan teknologi *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk analisis citra sel darah. Sistem ini dirancang untuk memberikan akses yang mudah bagi tenaga medis dan peneliti dari berbagai lokasi. Melalui antarmuka web yang *user-friendly*, pengguna dapat mengunggah gambar citra sel darah dan mendapatkan hasil deteksi dengan cepat dan akurat. Ini memungkinkan diagnosis yang lebih efisien dan dapat diakses terutama di daerah-daerah terpencil yang mungkin tidak memiliki fasilitas medis yang lengkap. Pengembangan sistem ini melibatkan penggunaan beberapa teknologi web utama, seperti Framework Flask untuk backend, yang menangani logika aplikasi dan manajemen server. Flask dipilih karena sifatnya yang ringan dan fleksibel, memungkinkan pengembangan aplikasi yang cepat dan efektif. Untuk antarmuka pengguna, digunakan HyperText Markup Language (HTML) dan Cascading Style Sheets (CSS). HTML digunakan untuk struktur halaman web, sementara CSS digunakan untuk mengatur tampilan dan layout, memastikan bahwa aplikasi web tidak hanya fungsional tetapi juga estetis dan mudah digunakan. Dengan menggunakan teknologi-teknologi ini, sistem dapat memberikan pengalaman pengguna yang mulus dan responsif, yang penting untuk penggunaan sehari-hari oleh tenaga medis yang membutuhkan hasil deteksi cepat. Sistem ini tidak hanya meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi dalam diagnosis malaria tetapi juga memungkinkan penyimpanan dan analisis data secara terpusat, yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut dan pengembangan model diagnostik yang lebih baik di masa depan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Data Collection

Sumber data yang dimanfaatkan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diambil melalui situs *kaggle.com*. *Dataset* ini dikembangkan oleh para peneliti di *Lister Hill National Center for Biomedical Communications* (LHNCBC) yang merupakan bagian dari *National Library of Medicine* (NLM). *Dataset* berisi total 27.558 gambar sel dengan jumlah data yang sama pada sel yang terinfeksi parasit (*infected*) yaitu 13.779 dan sel yang tidak terinfeksi (*Uninfected*) sebesar 13.779.

**Tabel 1.** Dataset

Dataset	Jumlah
<i>Infected</i>	13.779
<i>Uninfected</i>	13.779
Total	27.558

### 3.2 Data Preprocessing

Data Preprocessing adalah tahap penting dalam pembersihan data yang telah dikumpulkan. Tahapan ini dianggap sebagai langkah utama dan paling kritis dalam proses Knowledge Data Discovery (KDD). Teknik ini diperlukan untuk menghilangkan noise dari data mentah sehingga informasi yang relevan dapat diambil [18]. Data preprocessing dilakukan untuk mempersiapkan data mentah sebelum digunakan dalam model *deep learning*. Data preprocessing merupakan tahapan yang sangat penting karena data yang tidak diproses dengan baik dapat mengurangi kinerja model [19]. Pada penelitian ini data preprocessing yang dilakukan ada dua yaitu *image resizing* dan *data augmentation*.

a. *Image Resizing*

Mengubah ukuran gambar citra sel darah yang awalnya memiliki ukuran dan resolusi bervariasi diubah ukurannya menjadi 224x224 piksel. Beberapa alasan *image resizing* dilakukan yaitu agar konsistensi ukuran input sama, mengurangi beban komputasi serta agar pemakaian memori lebih efisien [20].

b. *Data Augmentation*

Metode untuk meningkatkan jumlah dan keragaman data pelatihan dengan membuat variasi dari data yang sudah ada dikenal sebagai data *augmentation*. Teknik ini membantu mencegah *overfitting* dan meningkatkan generalisasi model *deep learning* [21].



**Gambar 3.** Perbedaan Sebelum dan Sesudah Data Preprocessing

Dapat dilihat pada Gambar 3, sebelum dilakukan data *preprocessing* gambar memiliki ukuran dan resolusi yang bervariasi, hal tersebut dapat mempengaruhi konsistensi input pada model. Setelah dilakukan *image resizing*, semua gambar diseragamkan ke dimensi yang konsisten yaitu 224x224 piksel, hal tersebut dilakukan untuk memastikan keseragaman dalam proses *training*. Sedangkan tahap *data augmentation* menghasilkan variasi tambahan dari gambar asli dengan menerapkan transformasi yaitu rotasi, *flipping*, *zooming*, dan *shifting*, sehingga dataset menjadi lebih beragam. Perubahan tersebut bertujuan untuk meningkatkan kualitas data dan kemampuan model agar dapat mengenali pola dengan lebih baik.

Selanjutnya dataset yang telah dikumpulkan melalui kaggle dibagi dengan rasio 80:20, data *training* 80% dan data *validation* 20%. Rasio 80:20 adalah pendekatan yang sering digunakan dan dianggap seimbang dalam machine learning. Rasio ini memberikan cukup data untuk pelatihan agar model dapat mempelajari pola yang ada, serta cukup data untuk evaluasi guna mencegah *overfitting* dan memastikan generalisasi model [22]. Pembagian dataset dilakukan secara manual dengan hati-hati untuk memastikan dataset terpisah secara acak dan proporsional. Dataset berjumlah 27.558 data gambar yang sudah dibagi menjadi 2 kelas yaitu '*infected*' dan '*uninfected*' dengan masing-masing kelas berjumlah 13.779. Setelah itu data dibagi dengan rasio 80% untuk data *training* yaitu 22.046 data yang terbagi menjadi dua kelas juga yaitu '*training infected*' dan '*training uninfected*' dengan masing-masing kelas berjumlah 11.023 data gambar. Untuk data *validation* dilakukan hal serupa dengan rasio 20% yaitu 5.512 data yang terbagi menjadi dua kelas juga yaitu '*validation infected*' dan '*validation uninfected*' dengan masing-masing kelas berjumlah 2.756 data gambar citra sel darah.

**Tabel 2.** Data Training dan Data Validation

Data	<i>Infected</i>	<i>Uninfected</i>	Total
Training	2.756	2.756	5.512
Validation	11.023	11.023	22.046
Total	13.779	13.779	27.558

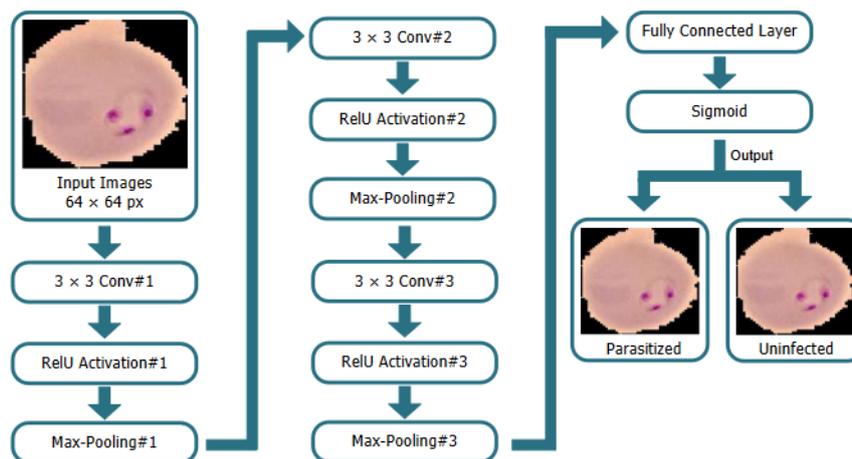
Tahap pembagian data ini memastikan bahwa model yang dilatih menggunakan data *training* memiliki generalisasi yang baik ketika diuji menggunakan data *validation*. Pembagian manual ini penting untuk memastikan bahwa data *training* dan data *validation* tidak saling *overlap*, sehingga model dapat dievaluasi dengan tepat pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

### 3.3 Model Training

Setelah dataset dibagi menjadi data testing dan data training, tahap selanjutnya yaitu membuat model klasifikasi menggunakan algoritma CNN. Dilakukan beberapa kali percobaan untuk mendapatkan lapisan terbaik yang akan digunakan pada model klasifikasi. Penelitian ini menggunakan arsitektur CNN yang terdiri dari beberapa lapisan sebagai berikut:

- Convolution Layers* merupakan dasar CNN, ini menggunakan filter yang mempelajari tepi, tekstur, dan pola dari gambar yang dimasukkan. Jumlah filter dimulai dengan 16 dan terus meningkat hingga 64, dengan ukuran filter yang umum digunakan yaitu 3x3. Aktivasi yang digunakan adalah ReLU (*Rectified Linear Unit*) untuk memasukkan non-linearitas ke dalam model.
- Pooling Layers* membantu mencegah overfitting karena mengurangi jumlah parameter dan mengurangi dimensi spasial output *Convolution Layer*. *Max pooling* merupakan metode *pooling* yang paling umum digunakan ini mengambil nilai maksimum dari area kecil, ukuran *pooling* yang digunakan yaitu 2x2 dengan 2 stride.
- Flatten Layers* digunakan untuk mengubah output dari *Convolution Layers* dan *Pooling Layers* menjadi satu vektor untuk *Fully Connected Layers*.
- Fully Connected Layers* atau *dense* digunakan untuk membuat keputusan berdasarkan fitur yang telah dipelajari. Jumlah neuron dimulai dengan jumlah neuron yang lebih besar yaitu 512 dan kemudian dikurangi secara bertahap sampai berjumlah 2. Sedangkan aktivasi yang digunakan yaitu ReLU untuk lapisan tersembunyi dan sigmoid untuk klasifikasi biner.

Arsitektur model CNN yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Model CNN yang Diusulkan

Rangkuman arsitektur model yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3 yang disertakan.

**Tabel 3.** Rangkuman Struktur Model CNN

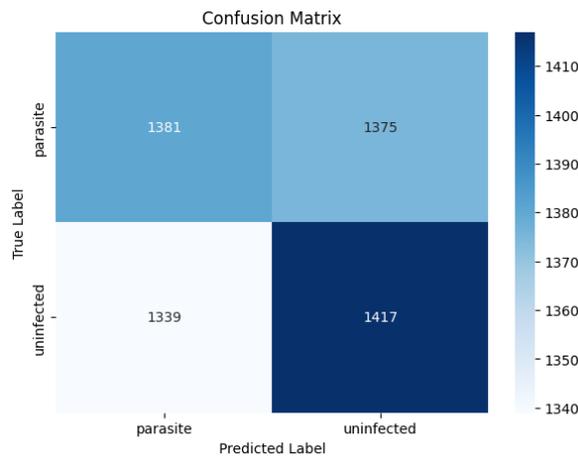
No.	Layer Type	Output Shape	Parameters
1	Conv2D	(222, 222, 16)	448
2	MaxPooling2D	(111, 111, 16)	0
3	Conv2D	(109, 109, 32)	4640
4	MaxPooling2D	(54, 54, 32)	0
5	Conv2D	(52, 52, 64)	18496
6	MaxPooling2D	(26, 26, 64)	0
7	Conv2D	(24, 24, 64)	36928
8	MaxPooling2D	(12, 12, 64)	0
9	Conv2D	(10, 10, 64)	36928
10	MaxPooling2D	(5, 5, 64)	0
11	Flatten	(1600)	0
12	Dense	(512)	819712
13	Dense	(2)	1026
<b>Total Parameters</b>			<b>918178</b>

Setelah model dibuat dan ringkasan arsitektur model dicetak selanjutnya dilakukan kompilasi model dengan *optimizer*, *loss function*, dan *metrics*. *Optimizer* yang digunakan adalah '*adam*' yang merupakan metode optimasi adaptif yang efisien, *loss* yang digunakan yaitu '*categorical\_crossentropy*' sebagai fungsi kerugian dan *metrics* yang digunakan sebagai evaluasi adalah '*accuracy*'. Sebelum mendapatkan akurasi, model dilatih terlebih dahulu menggunakan *train generator* dan *validation generator* dengan *epoch* sebanyak 20. Hasil akurasi yang didapatkan dari training tersebut adalah sebesar 96,93%.

### 3.4 Model Evaluation

#### a. Confussion Matrix

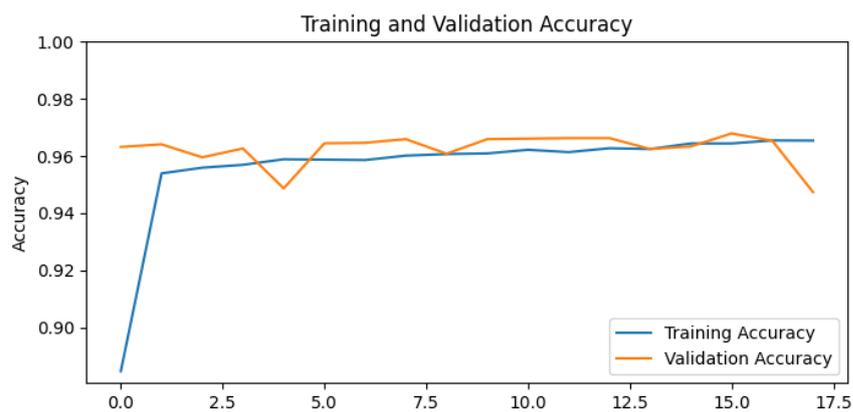
Pada saat evaluasi penelitian ini menggunakan *confusion matrix* yang digunakan untuk membandingkan kinerja prediksi model dengan label yang sebenarnya berasal dari data uji.



**Gambar 5.** Confussion Matrix

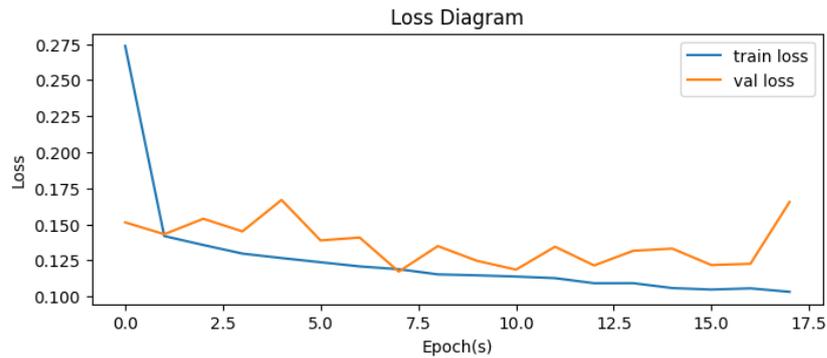
Berdasarkan confusion matriks pada Gambar 5 terdapat 1381 prediksi benar untuk sel yang terinfeksi parasit dan 1417 prediksi benar untuk sel yang tidak terinfeksi. Namun, model juga menghasilkan 1375 prediksi salah di mana sel terinfeksi diklasifikasikan sebagai tidak terinfeksi, dan 1339 prediksi salah untuk sel tidak terinfeksi yang diklasifikasikan sebagai terinfeksi. Hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang hampir seimbang antara kedua kelas, namun tingkat kesalahan klasifikasi yang signifikan menunjukkan perlunya peningkatan akurasi model, terutama dalam mengurangi false positives dan false negatives untuk diagnosis yang lebih akurat.

#### b. Plotting Training and Validation Accuracy dan Los



**Gambar 6.** Accuracy Diagram

Grafik menunjukkan tren peningkatan akurasi yang baik pada data pelatihan maupun pada data validasi. Akurasi pelatihan meningkat tajam di awal, mendekati konvergensi setelah beberapa epoch, sementara akurasi validasi berfluktuasi namun tetap sejalan dengan akurasi pelatihan. Pada akhir pelatihan, akurasi validasi mendekati akurasi pelatihan dengan nilai mendekati 0.96, menunjukkan model memiliki kinerja yang baik dan tidak mengalami overfitting yang signifikan. Hal ini mengindikasikan model CNN mampu menggeneralisasi dengan baik terhadap data yang tidak terlihat selama pelatihan.



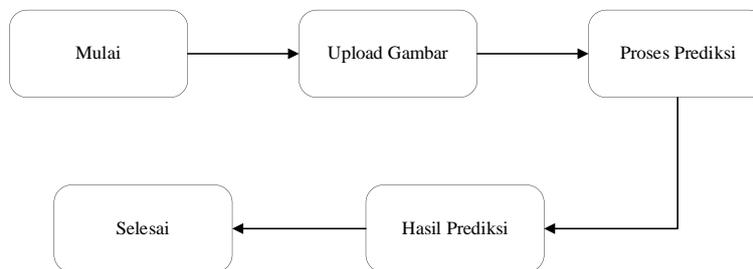
Gambar 7. Loss Diagram

Diagram loss menunjukkan penurunan yang signifikan pada nilai loss data pelatihan di awal epoch, diikuti oleh penurunan yang lebih lambat dan konsisten seiring dengan bertambahnya jumlah epoch. Sebaliknya, nilai loss validasi menurun tajam pada awal pelatihan tetapi kemudian menunjukkan fluktuasi yang lebih besar, terutama setelah epoch ke-10, dengan sedikit peningkatan di akhir. Pola ini menunjukkan bahwa model CNN berhasil meminimalkan error pada data pelatihan, tetapi fluktuasi loss pada data validasi mengindikasikan adanya ketidakstabilan dalam generalisasi terhadap data yang tidak terlihat, yang mungkin disebabkan oleh variasi dalam dataset atau kompleksitas model yang masih perlu disesuaikan.

Dapat disimpulkan bahwa model CNN yang digunakan untuk identifikasi parasit malaria pada citra sel darah menunjukkan performa yang cukup baik, dengan akurasi validasi yang mendekati akurasi pelatihan sebesar 0,96. Meskipun demikian, analisis matriks kebingungan mengindikasikan adanya tingkat kesalahan klasifikasi yang signifikan, dengan jumlah false positives dan false negatives yang hampir seimbang. Hal ini menunjukkan perlunya peningkatan lebih lanjut dalam akurasi model untuk mengurangi kesalahan diagnosis. Grafik akurasi menunjukkan tren peningkatan yang konsisten tanpa indikasi overfitting yang signifikan, sementara pola penurunan loss pada data pelatihan mengindikasikan kemampuan model dalam meminimalkan error. Namun, fluktuasi loss pada data validasi mengisyaratkan ketidakstabilan dalam generalisasi yang mungkin terkait dengan variasi dataset atau kompleksitas model yang masih perlu disesuaikan.

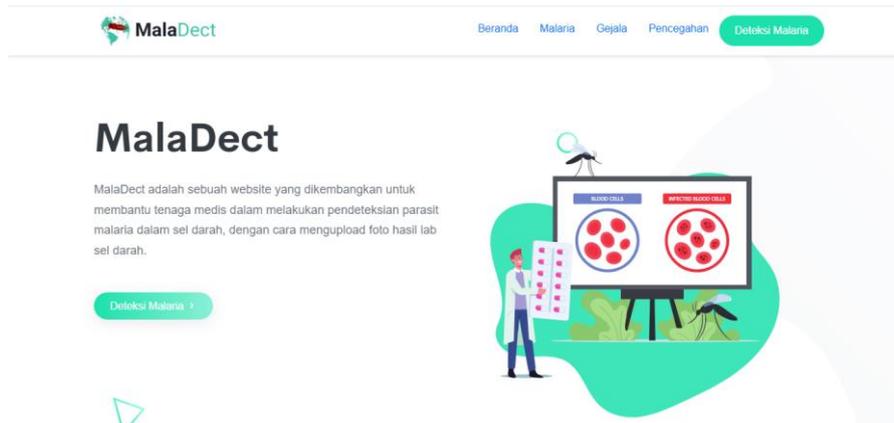
### 3.5 Model Deployment

Pada penelitian ini web yang dibangun menggunakan *flask* melibatkan beberapa langkah, mulai dari pengaturan lingkungan pengembangan hingga implementasi fungsionalitas *backend* dan *frontend*. *Backend* pada penelitian ini menggunakan *framework flask*. *Flask* adalah *framework* mikro web yang ringan dan fleksibel untuk bahasa pemrograman python, sehingga sangat ideal untuk proyek kecil hingga menengah. Desain *frontend* pada penelitian ini menggunakan HTML dan CSS. Dalam konteks ini, HTML bertanggung jawab atas struktur dan konten halaman web, sementara CSS mengontrol gaya dan tata letak elemen-elemen tersebut. Model yang sudah dibuat sebelumnya disimpan dalam ekstensi *h5* yang kemudian akan diintegrasikan dengan halaman webnya.



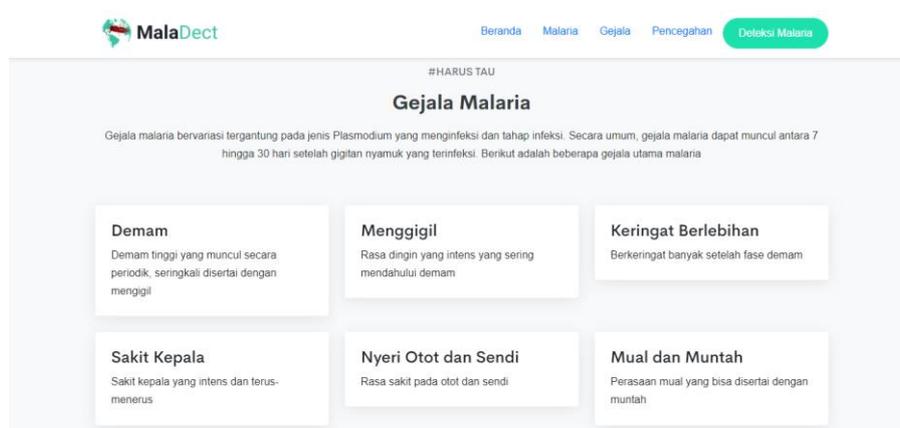
Gambar 8. Alur Penggunaan

Proses dimulai ketika *user* membuka web, dimana mereka dapat mengunggah foto citra sel darah pada halaman deteksi. Setelah gambar diunggah, proses prediksi akan dilakukan untuk menentukan apakah sel darah tersebut terinfeksi malaria atau tidak. Hasil prediksi kemudian akan ditampilkan sebagai output dari proses deteksi. Setelah pengguna mendapatkan hasil deteksi maka proses berakhir. Web yang telah dibuat diberi nama MalaDect, tampilan *home* dari web MalaDect dapat dilihat pada Gambar 7.



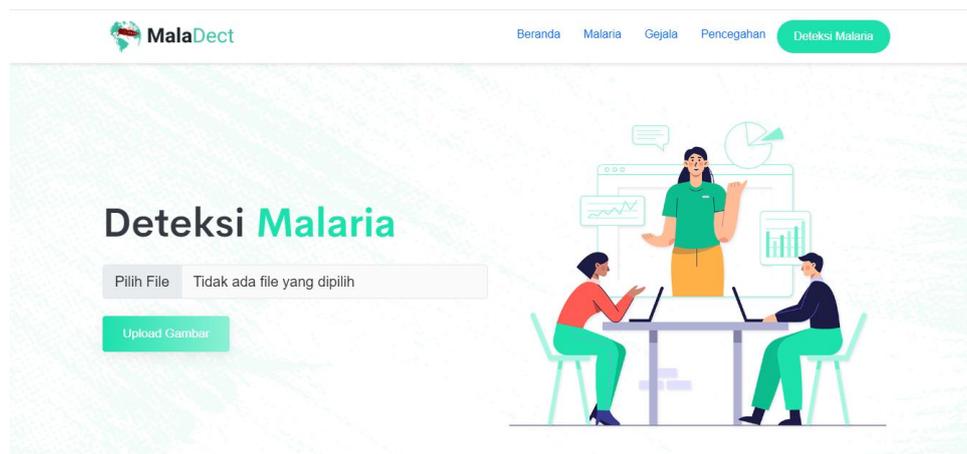
Gambar 9. Home Web MalaDect

Selain halaman *home* terdapat juga halaman gejala yang berisi penjelasan mengenai gejala-gejala yang dialami oleh seseorang apabila terkena penyakit malaria seperti Gambar 8.



Gambar 10. Gejala Web MalaDect

Selanjutnya halaman deteksi malaria, pada halaman ini pengguna bisa langsung mengupload foto hasil lab sel darah yang sudah diolah menjadi citra gambar kedalam web, pengguna juga bisa langsung mengupload beberapa foto sekaligus dalam sekali proses deteksi.



Gambar 11. Deteksi Malaria Web MalaDect

Hasil deteksi langsung ditampilkan hanya dalam hitungan detik, hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel agar lebih rapi, *web* menampilkan hasil prediksi dari gambar sel darah yang dimasukkan, ada yang berlabel *infected* untuk sel darah yang terinfeksi parasit malaria dan ada yang berlabel *not infected* untuk sel darah yang tidak terinfeksi malaria seperti pada Gambar 10.



No	Gambar	Nama File	Hasil
1		C175P136NThinF_IMG_20151127_141428_cell_221.png	infected
2		C175P136NThinF_IMG_20151127_141428_cell_223.png	infected
3		C201ThinF_IMG_20150930_143502_cell_21.png	not infected

Gambar 12. Hasil Deteksi Web MalaDect

### 3.6 Pembahasan

#### 3.6.1 Analisis Model *Convolutional Neural Network*

Pada penelitian ini model yang dikembangkan menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk mendeteksi parasit malaria menunjukkan hasil yang sangat memuaskan dengan tingkat akurasi sebesar 96,93%. Pencapaian ini menunjukkan bahwa model tersebut mampu mengidentifikasi parasit malaria dengan sangat baik dan mengurangi kemungkinan kesalahan diagnosis yang dapat berakibat fatal. Penerapan *data augmentation* juga berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang didapatkan, seperti penelitian yang dilakukan oleh [13] ketika tidak menerapkan data augmentation akurasi yang didapatkan sebesar 94,33%, sedangkan ketika menerapkan teknik *data augmentation* akurasi meningkat menjadi 95,99%. Hal tersebut membuktikan bahwa penerapan data augmentation menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat akurasi dari model CNN, selain itu pemilihan parameter yang tepat dan penggunaan dataset yang representatif juga berkontribusi terhadap performa tinggi model ini.

#### 3.6.3 Pemanfaatan di Dunia Nyata

Penelitian ini memiliki potensi besar untuk penerapan di dunia nyata. Dengan menggunakan teknologi ini, tenaga medis dan masyarakat di daerah endemik malaria dapat dengan mudah mengunggah foto citra sel darah ke dalam website yang telah disediakan, lalu menerima hasil analisis secara cepat dan akurat. Hal ini sangat membantu dalam mempercepat proses diagnosis dan penanganan malaria, terutama di wilayah-wilayah yang memiliki keterbatasan akses terhadap fasilitas laboratorium dan tenaga ahli yang terlatih. Implementasi teknologi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan kecepatan dalam diagnosis malaria, tetapi juga dapat berperan dalam upaya edukasi kepada masyarakat mengenai penyakit malaria. Dengan memberikan akses yang lebih luas dan mudah, teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran tentang malaria, cara pencegahannya, serta pentingnya deteksi dini untuk mencegah penyebaran penyakit.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem deteksi otomatis parasit malaria menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) yang terintegrasi dengan platform web berbasis Flask, mencapai akurasi sebesar 96,93%. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi antara penggunaan dataset yang ekstensif, augmentasi data, dan arsitektur CNN yang optimal mampu meningkatkan performa deteksi secara signifikan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan teknik serupa maupun berbeda. Temuan ini mengonfirmasi bahwa model CNN dengan augmentasi data tidak hanya efektif dalam mengidentifikasi parasit malaria secara akurat, tetapi juga memiliki potensi untuk diimplementasikan dalam aplikasi diagnostik yang dapat diakses secara luas, terutama di daerah dengan keterbatasan fasilitas medis.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan bimbingan-Nya, sehingga jurnal ini dapat diselesaikan dengan baik. Proses penulisan jurnal ini merupakan sebuah perjalanan

yang panjang, penuh dengan tantangan dan pembelajaran. Tanpa dukungan dari berbagai pihak, penyelesaian jurnal ini tidak mungkin dapat dicapai dengan baik. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak M. Riko Anshori Prasetya dan Bapak Ahmad Hidayat atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang tiada hentinya. Beliau berdua telah memberikan masukan yang sangat berharga serta motivasi yang kuat, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh staf pengajar di Universitas Sari Mulia, atas ilmu yang telah diberikan selama masa studi. Kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung, terima kasih atas segala bantuan, dukungan, dan kerjasamanya. Semoga Tuhan membalas semua kebaikan yang telah diberikan. Dengan penuh kesadaran, saya menyadari bahwa jurnal ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga jurnal ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan bermanfaat bagi para pembaca.

## REFERENCES

- [1] K. Adi and C. Anam, "Rancang Bangun Perangkat Lunak Untuk Perhitungan Sel Darah Merah Normal Dan Terinfeksi Malaria," vol. 22, no. 3, pp. 110–116, 2019.
- [2] Kemkes, "Kasus Malaria di Indonesia." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://malaria.kemkes.go.id/case>
- [3] J. Gatc and F. Maspiyanti, "Gatc, Prediksi Parasit Plasmodium Pada Citra Mikroskopis Sel Darah Merah dengan Convolutional Neural Networks 31 Prediksi Parasit Plasmodium pada Citra Mikroskopis Sel Darah Merah dengan Convolutional Neural Networks," pp. 31–41, Apr. 2021.
- [4] J. E. Massamba, J. C. Djontu, C. J. Vouvougui, C. Kobawila, and F. Ntoumi, "Plasmodium falciparum multiplicity of infection and pregnancy outcomes in Congolese women from southern Brazzaville, Republic of Congo," *Malar J*, vol. 21, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1186/s12936-022-04105-w.
- [5] Mayo Clinic Staff, "Malaria Diagnosis," Mayo Clinic.
- [6] M. Harahap, J. Jefferson, S. Barti, S. Samosir, and C. A. Turnip, "Implementation of Convolutional Neural Network in the classification of red blood cells have affected of malaria," *Sinkron*, vol. 5, no. 2, pp. 199–207, Apr. 2020, doi: 10.33395/sinkron.v5i2.10713.
- [7] Muslihati, S. Sahibu, and I. Taufik, "Implementation of the Convolutional Neural Network Algorithm for Classifying Types of Organic and Non-Organic Waste Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network untuk Klasifikasi Jenis Sampah Organik dan Non Organik," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 3, pp. 840–852, 2024, doi: 10.57152/malcom.v7i2.1346.
- [8] M. Masud *et al.*, "Leveraging Deep Learning Techniques for Malaria Parasite Detection Using Mobile Application," *Wirel Commun Mob Comput*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8895429.
- [9] A. W. Setiawan *et al.*, "Deteksi Malaria Berbasis Segmentasi Warna Citra Dan Pembelajaran Mesin Malaria Detection Using Color Image Segmentation And Machine Learning," vol. 8, no. 4, pp. 769–776, 2021, doi: 10.25126/jtiik.202184377.
- [10] A. Lapu Kalua, P. Korespondensi, D. Tineke Salaki, and S. Ratulangi, "Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Malaria dengan Certainty Factor dan Forward Chaining," *ITSESC: Journal of Information Technology, Software Engineering, and Computer Science*, vol. 1, no. 1, 2023.
- [11] A. Rais, "Pendeteksian Parasit Malaria Dalam Sel Darah Manusia Menggunakan Metode Convolutional Neural Network," Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2020.
- [12] F. F. Maulana and N. Rochmawati, "Klasifikasi Citra Buah Menggunakan Convolutional Neural Network," *Journal of Informatics and Computer Science*, vol. 1, 2020.

- [13] R. A. Hasyani, S. M. Simbolon, Y. Mufida, Y. Ester, and B. Ritonga, "Klasifikasi Malaria melalui Penggunaan Convolutional Neural Network pada Citra Sel Darah," *Student Research Journal*, vol. 1, no. 6, 2023, doi: 10.55606/srjyappi.v1i6.853.
- [14] E. Setyaningrum, *Mengenal Malaria dan Vektornya*, 1st ed. Lampung: Pustaka Ali Imron, 2020. Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <http://repository.lppm.unila.ac.id/19438/>
- [15] J. Patterson and A. Gibson, *Deep Learning : A Practitioner's Approach*, First Edition. Sebastopol: O'Reilly Media, 2017. [Online]. Available: [www.allitebooks.com](http://www.allitebooks.com)
- [16] S. Rajaraman *et al.*, "Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors toward improved malaria parasite detection in thin blood smear images," *PeerJ* 6:e4568, 2018.
- [17] S. Liang, X. Liu, J. Wang, and Y. Zheng, "Malaria Cell Image Classification Based on Deep Learning," *J Healthc Eng*, pp. 1–8, 2020.
- [18] M. Riko Anshori Prasetya and A. Mudi Priyatno, "Penanganan Imputasi Missing Values pada Data Time Series dengan Menggunakan Metode Data Mining," *Jurnal Informasi dan Teknologi*, vol. 5, pp. 56–62, Jun. 2023, doi: 10.37034/jidt.v5i1.324.
- [19] N. Huda, S. Y. Prayogi, M. A. Ahmad, and A. Y. Dewi, "Klasifikasi Malaria Menggunakan Metode Image Processing Dari Sel Darah Merah Dengan Algoritma Convolutional Neural Network," *JOINS (Journal of Information System)*, vol. 7, no. 2, pp. 166–177, Nov. 2022, doi: 10.33633/joins.v7i2.7068.
- [20] A. F. Saksenata, A. E. Minarno, and Y. Azhar, "Klasifikasi Citra Sel Darah Untuk Penyakit Malaria Dengan Metode CNN," *REPOSITOR*, vol. 4, no. 2, pp. 185–194, 2022, doi: <https://doi.org/10.22219/repositor.v4i2.31053>.
- [21] P. D. Ayuni, Jasril, M. Irsyad, F. Yanto, and S. Sanjaya, "Augmentasi Data Pada Implementasi Convolutional Neural Network Arsitektur Efficientnet-B3 Untuk Klasifikasi Penyakit Daun PADI," *SISTEMASI: Jurnal Sistem Informasi*, vol. 5, no. 2, pp. 239–249, 2023, doi: <https://doi.org/10.31849/zn.v5i2.13874>.
- [22] I. Amri, "Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network Untuk Menerjemahkan Bahasa Isyarat," *Jurnal Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 2, no. 9, pp. 70–87, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.warunayama.org/kohesi>
- [23] A. Zein, "Pendeteksian Penyakit Malaria Menggunakan Medical Images Analisis Dengan Deep Learning Python Detection of Malaria Using Medical Images Analysis with Deep Learning Python," *Sainstec*, vol. 29, no. 1, pp. 1410–7104, 2019.