

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Katarak merupakan salah satu penyebab utama kebutaan di dunia yang menjadi masalah kesehatan masyarakat global. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), katarak menyumbang sekitar 45% dari seluruh kasus kebutaan di dunia dan angka tersebut terus meningkat seiring dengan penambahan usia penduduk (World Health Organization, 2024). Diperkirakan pada tahun 2025, lebih dari 15 juta orang akan mengalami kebutaan akibat katarak di seluruh dunia (Dreyer, 2025). Berdasarkan data *Global Burden of Disease* (GBD) tahun 2021, beban penyakit akibat katarak meningkat dari 3,42 juta YLDs pada tahun 1990 menjadi 6,55 juta pada tahun 2021, atau meningkat hampir 92% (Lin et al., 2025). Fakta tersebut menunjukkan pentingnya *strategi* deteksi dini yang akurat untuk menekan angka kebutaan akibat katarak.

Di Indonesia, katarak masih menjadi penyebab utama kebutaan pada penduduk usia lanjut. Berdasarkan hasil *Rapid Assessment of Avoidable Blindness* (RAAB) yang dirilis oleh Kementerian Kesehatan RI, prevalensi kebutaan pada penduduk usia ≥ 50 tahun berada pada kisaran 3%, dan sekitar 81% kasus kebutaan tersebut disebabkan oleh katarak sebagai penyebab terbesar (Kep, 2024). Kondisi ini menunjukkan perlunya pengembangan sistem diagnostik cerdas berbasis citra digital yang dapat membantu proses identifikasi dan klasifikasi katarak secara cepat, akurat, dan mudah diakses. Salah satu pendekatan yang relevan untuk tujuan tersebut adalah pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) berbasis *deep learning* dalam analisis citra medis, termasuk citra fundus mata.

Analisis citra fundus atau foto retina merupakan metode non-invasif yang umum digunakan untuk mengevaluasi kondisi retina dan lensa mata (Santoso et al., 2025). Meskipun katarak secara langsung menyerang lensa, kekeruhan lensa yang diakibatkannya dapat memengaruhi visibilitas struktur retina pada citra fundus. Oleh karena itu, tingkat kejernihan citra fundus dapat dijadikan indikator tidak

langsung untuk mengidentifikasi tingkat keparahan katarak (Yudono et al., 2025).

Penelitian *DeepOpacityNet* menunjukkan bahwa citra fundus dapat digunakan untuk mendeteksi katarak secara otomatis melalui model *explainable deep learning* yang mencapai tingkat akurasi tinggi (Elsawy et al., 2023). Selain itu, penelitian *Fundus Photograph-Based Cataract Evaluation Network* (DCEN) oleh Gao et al. (2023) membuktikan bahwa klasifikasi jenis katarak berdasarkan citra fundus dapat meningkatkan akurasi evaluasi derajat katarak.

Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) atau model hibrida seperti *Convolutional Recurrent Neural Network* (CRNN) (Mienye et al., 2025). Meskipun CNN terbukti efektif dalam tugas klasifikasi citra, arsitektur ini memiliki keterbatasan dalam mempertahankan informasi spasial yang kompleks akibat adanya operasi *pooling* (Nirthika et al., 2022). Hal ini menyebabkan hilangnya hubungan antara bagian-bagian penting dari suatu objek (*part-whole relationships*) yang sangat dibutuhkan dalam analisis citra medis yang berstruktur kompleks seperti citra fundus retina (Cai et al., 2020).

Sebagai alternatif, Hinton memperkenalkan *Capsule Network* (CapsNet), yaitu arsitektur *deep learning* yang mempertahankan hubungan spasial antarfitur melalui mekanisme *Dynamic routing between capsules* (Sabour et al., 2017). Keunggulan utama CapsNet terletak pada kemampuannya dalam mengenali orientasi dan posisi objek tanpa kehilangan konteks spasial. Beberapa penelitian di bidang oftalmologi menunjukkan bahwa CapsNet memiliki kinerja yang lebih unggul dibandingkan CNN. Misalnya, pada klasifikasi citra *Optical Coherence Tomography* (OCT), CapsNet mampu mencapai akurasi yang lebih tinggi dibandingkan model konvolusional konvensional (Tsuji et al., 2020).

Selain itu, CapsNet juga telah berhasil diterapkan pada diagnosis glaukoma dan retinopati diabetik. Penelitian oleh Govindharaj I et al. (2024) bahwa CapsNet yang dikombinasikan dengan arsitektur U-Net++ mampu mencapai akurasi hingga 98,23% dalam klasifikasi glaukoma. Studi lain seperti *InceptionCaps* memperoleh nilai AUC sebesar 0,9556 pada dataset RIM-ONE v2 (Manohar & O'Reilly, 2023a).

Namun demikian, penerapan *Capsule Network* (CapsNet) pada klasifikasi citra fundus katarak masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih berfokus pada penyakit retina, seperti glaukoma dan retinopati diabetik, sementara kajian yang secara khusus menganalisis tingkat akurasi CapsNet dalam mengidentifikasi katarak melalui citra fundus masih jarang dilakukan. Selain itu, penelitian yang ada umumnya menempatkan CapsNet sebagai metode pembanding terhadap *Convolutional Neural Network* (CNN), sehingga evaluasi akurasi CapsNet secara mandiri dan mendalam belum banyak dikaji. Padahal, analisis tersebut penting untuk menilai efektivitas CapsNet dalam mempertahankan informasi spasial dan mengklasifikasikan citra fundus katarak secara optimal.

Selain itu, keterbatasan dalam ketersediaan dataset citra fundus katarak yang berkualitas dan terstandarisasi juga menjadi tantangan tersendiri. Citra fundus pada pasien katarak sering kali terdegradasi akibat kekaburan (*blur*) atau artefak optik yang dihasilkan oleh lensa yang keruh. Kondisi ini menyulitkan model *deep learning* dalam mengekstraksi fitur yang relevan secara akurat. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian yang secara khusus berfokus pada evaluasi akurasi CapsNet terhadap variasi citra fundus katarak dengan mempertimbangkan kondisi nyata di lapangan.

Kesenjangan penelitian (*research gap*) yang muncul dari kondisi tersebut adalah masih terbatasnya studi yang menilai performa *Capsule Network* (CapsNet) secara eksklusif dalam klasifikasi citra fundus katarak. Walaupun CapsNet telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam bidang oftalmologi lainnya seperti deteksi glaukoma dan retinopati diabetik, validitas dan tingkat akurasi CapsNet dalam kasus katarak berbasis citra fundus belum banyak dibuktikan secara kuantitatif. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara khusus menganalisis akurasi CapsNet dalam klasifikasi citra fundus katarak sebagai bagian dari pengembangan kajian di bidang oftalmologi.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis memilih judul “Analisis Akurasi Metode *Capsule Network* pada Klasifikasi Citra Fundus Katarak”. Penelitian ini berfokus untuk menganalisis tingkat akurasi metode CapsNet dalam mengenali dan

mengklasifikasikan citra fundus retina pada kasus katarak. Sistem yang dikembangkan difokuskan pada evaluasi performa CapsNet secara kuantitatif dengan menggunakan beberapa metrik evaluasi, yaitu akurasi, presisi, *recall*, *spesifisitas*, *F1-score*, dan *Area Under the Curve* (AUC). Evaluasi dilakukan untuk menilai kemampuan model dalam membedakan citra fundus normal dan citra fundus penderita katarak secara optimal. Hasil yang diharapkan meliputi tingkat akurasi model terhadap data uji, analisis kesalahan klasifikasi melalui *Confusion matrix*, serta interpretasi visualisasi kapsul yang menunjukkan bagian citra yang berkontribusi terhadap keputusan model. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan arsitektur CapsNet untuk citra medis, serta kontribusi praktis dalam mendukung sistem deteksi katarak secara otomatis berbasis citra fundus.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem klasifikasi yang dapat menerapkan dan mengukur akurasi metode *Capsule Network* (CapsNet) dalam proses klasifikasi citra fundus katarak?
2. Bagaimana mengimplementasikan model *Capsule Network* dalam klasifikasi citra fundus katarak dan normal untuk menganalisis tingkat akurasi pada metode *Capsule Network* dalam membantu kinerja di bidang medis?
3. Bagaimana performa model *Capsule Network* dalam melakukan klasifikasi citra fundus katarak berdasarkan metrik evaluasi yang relevan?

1.3 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan di atas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Pengembangan rancangan sistem klasifikasi citra fundus katarak menggunakan metode *Capsule Network* (CapsNet) untuk menerapkan dan mengukur tingkat akurasi klasifikasi dengan mempertimbangkan

kemampuan model dalam mempertahankan informasi spasial antar fitur.

2. Pengimplementasian metode *Capsule Network* (CapsNet) pada sistem klasifikasi citra fundus katarak dan normal serta menganalisis tingkat akurasi berdasarkan hasil pengujian data uji sebagai dasar penelitian lanjutan di bidang medis.
3. Mengevaluasi performa sistem melalui metrik evaluasi seperti akurasi, presisi, *recall*, *spesifisitas*, *F1-score*, dan *Area Under the Curve* (AUC), untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kemampuan model *Capsule Network* (CapsNet) dalam mengklasifikasikan citra fundus katarak secara optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai tingkat akurasi metode *Capsule Network* (CapsNet) dalam mengklasifikasikan citra fundus katarak.
2. Memberikan gambaran kinerja metode *Capsule Network* (CapsNet) dalam klasifikasi citra fundus katarak berdasarkan hasil akurasi yang diperoleh sebagai sistem pendukung analisis citra medis.
3. Menjadi bahan evaluasi efektivitas metode *Capsule Network* (CapsNet) dalam pengolahan citra fundus katarak berdasarkan hasil akurasi klasifikasi yang dihasilkan.
4. Menjadi dasar pengembangan sistem analisis citra fundus berbasis kecerdasan buatan yang dapat diimplementasikan lebih lanjut pada *platform* aplikasi atau sistem berbasis *web* di bidang medis.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Agar tujuan penelitian dapat dicapai secara fokus dan terukur, penelitian ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada analisis akurasi metode *Capsule Network* (CapsNet) dalam melakukan klasifikasi citra fundus antara kategori normal dan katarak.
2. Dataset yang digunakan berupa citra fundus mata yang terdiri atas dua kelas,

yaitu katarak dan normal. Dataset penelitian mencakup data citra katarak klinis sebanyak 124 citra dan data mata normal sebanyak 72 citra, yang digunakan sebagai bagian dari data penelitian.

3. Seluruh data citra yang digunakan dikelompokkan ke dalam dua kelas, yaitu normal dan katarak, kemudian dibagi menjadi data *training*, *validation*, dan *testing*. Penelitian ini tidak membedakan jenis, stadium, maupun tingkat keparahan katarak.
4. Proses pelatihan (*Training*) model dilakukan menggunakan bahasa pemrograman *Python* dengan bantuan *library PyTorch* di lingkungan *Google Colab*.
5. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metrik akurasi, presisi, *recall*, *spesifisitas*, *F1-score*, dan *Area Under the Curve* (AUC) untuk menilai kemampuan model dalam klasifikasi.
6. Model yang telah dilatih diimplementasikan ke dalam bentuk sistem berbasis *web* menggunakan *Flask*, yang memungkinkan pengguna untuk mengunggah citra fundus dan memperoleh hasil prediksi klasifikasi (katarak atau normal) beserta tingkat keyakinan (*confidence*) model.
7. *Website* yang dikembangkan hanya berfungsi sebagai media pengujian dan visualisasi hasil prediksi, bukan sebagai sistem diagnosis klinis.
8. Hasil penelitian ini ditujukan sebagai kajian akademik dan penelitian awal, bukan sebagai alat bantu diagnosis medis yang digunakan secara langsung dalam praktik klinis.
9. Penelitian ini tidak melakukan perbandingan performa dengan metode *deep learning* lainnya, melainkan hanya menganalisis performa *Capsule Network* (CapsNet) secara independen.