BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Mata mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Namun, meskipun berfungsi sebagai indera penglihatan utama, mata juga rentan terhadap berbagai penyakit. Salah satu penyakit mata yang perlu diwaspadai adalah glaukoma. Glaukoma merupakan kondisi yang merusak saraf optik dan dikenal sebagai penyebab kebutaan kedua terbanyak di dunia. Selain itu, penyakit ini menempati posisi keempat sebagai penyebab gangguan penglihatan tingkat sedang hingga berat secara global. Glaukoma merupakan gangguan pada mata yang ditandai dengan kerusakan saraf optik, umumnya disebabkan oleh peningkatan tekanan intraokular (TIO) yang menghambat aliran darah ke saraf tersebut. Selain faktor tekanan, aspek genetik, struktur anatomi mata, gangguan neurologis, kondisi vaskular, dan proses inflamasi juga berkontribusi terhadap timbulnya penyakit ini [1].

Sebagai penyebab kebutaan permanen kedua setelah katarak, glaukoma ditandai oleh kerusakan progresif pada *retinal ganglion cell* (RGC) dan aksonnya secara bertahap [1]. Dampak penyakit ini sangat signifikan dalam skala global. Berdasarkan tinjauan sistematis terbaru, diperkirakan lebih dari 76 juta orang di seluruh dunia menderita glaukoma pada tahun 2020, dengan sekitar 3,2 juta di antaranya mengalami kebutaan total. Prevalensi penyakit ini juga lebih tinggi pada kelompok usia 40 tahun ke atas, yakni mencapai 3,5% [2].

Di Indonesia, prevalensi glaukoma sekitar 0,46%, dengan peningkatan signifikan pada kasus rawat jalan antara 2021 dan 2022. Data Kementerian Kesehatan RI menyebutkan bahwa glaukoma merupakan penyebab kebutaan kedua terbanyak di Indonesia setelah katarak [3]. Hal ini menunjukkan bahwa glaukoma merupakan masalah kesehatan mata global yang serius, dengan jumlah penderita yang terus meningkat seiring bertambahnya usia populasi dunia.

Salah satu tantangan utama dalam penanganan glaukoma adalah sifatnya yang berkembang secara perlahan tanpa menimbulkan gejala pada fase awal. Kondisi ini membuat sebagian besar pasien baru menyadari keberadaan penyakit tersebut setelah terjadi kerusakan permanen pada saraf optik. Situasi ini semakin diperburuk oleh rendahnya kesadaran masyarakat akan pemeriksaan mata rutin serta keterbatasan ketersediaan alat deteksi dini, yang menyebabkan diagnosis dan penanganan kerap terlambat dilakukan [4].

Mengacu pada kerusakan saraf optik akibat tekanan intraokular bersifat *irreversible*, deteksi dini glaukoma menjadi hal yang sangat penting. Untuk menjawab masalah tersebut, proyek Capstone ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi dini glaukoma berbasis *deep learning* menggunakan model *Convolutional Neural Network* (CNN). Sistem dirancang untuk menganalisis citra *fundus* mata yang diambil melalui *pantoscopic ophthalmoscope* yang telah dimodifikasi agar terintegrasi dengan kamera *smartphone*. Hasil pengolahan data kemudian ditampilkan melalui aplikasi *mobile*, memungkinkan pengguna melakukan pemeriksaan secara praktis dan cepat.

1.2 Analisis Masalah

Glaukoma merupakan penyakit mata yang umumnya tidak memiliki gejala tahap awal yang jelas, fakta tersebut menyebabkan banyak penderita mengalami kesulitan untuk sadar akan kerusakan pada penglihatan yang pada akhirnya signifikan memburuk. Beberapa faktor yang menyebabkan seseorang tidak menyadari bahwa mereka terkena *glaukoma* meliputi hal-hal berikut:

1.2.1 Aspek Kesehatan

Kurangnya kesadaran masyarakat dengan mengabaikan gejala penyakit yang dirasakan sehingga tidak melakukan pemeriksaan secara langsung ke fasilitas pelayanan kesehatan membuat pertumbuhan penyakit berkelanjutan dan akan memperparah kondisi kesehatan sehingga mengalami kebutaan.

1.2.2 Aspek Ekonomi

Kelompok ekonomi menengah ke bawah menghadapi tantangan dalam mengakses layanan kesehatan mata karena biaya pemeriksaan dan pengobatan yang tinggi. Selain itu, mereka yang tinggal di daerah terpencil harus menanggung biaya tambahan untuk transportasi ke fasilitas kesehatan di kota besar.

1.2.3 Aspek Sosial

Dampak dari glaukoma juga menjadi hal yang diperhatikan dalam kegiatan sehari-hari, karena penglihatan terganggu sehingga sulitnya untuk berkomunikasi, penurunan kualitas dalam bekerja, mobilitas, dan kualitas hidup secara keseluruhan.

1.2.4 Aspek Teknologi

Akses terbatas terhadap teknologi medis modern, seperti perangkat deteksi dini glaukoma, menjadi masalah bagi masyarakat di daerah terpencil atau berpenghasilan rendah.

Kurangnya peralatan diagnostik yang memadai di fasilitas kesehatan lokal menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi dan menangani penyakit ini.

1.2.5 Aspek Edukasi

Kurangnya pengetahuan tentang glaukoma di kalangan masyarakat umum menyebabkan penyakit ini sering tidak terdiagnosis hingga mencapai tahap lanjut. Edukasi mengenai gejala awal, pentingnya pemeriksaan rutin, dan dampak glaukoma perlu ditingkatkan untuk mencegah kebutaan yang disebabkan oleh penyakit ini [3].

1.2.6 Aspek Psikologis

Penderita glaukoma kerap menghadapi tekanan emosional akibat penurunan fungsi penglihatan yang terjadi secara mendadak. Hal ini dapat memicu munculnya rasa cemas, stres, bahkan depresi, terutama saat mereka menyadari bahwa kondisi tersebut berdampak pada kemampuan menjalani aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, dukungan psikologis menjadi sangat penting untuk membantu pasien mengelola dampak emosional dari penyakit ini.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Berbagai metode berbasis kecerdasan buatan, khususnya yang memanfaatkan arsitektur *deep learning*, telah banyak dikembangkan untuk mendeteksi glaukoma melalui pencitraan *fundus*. Beberapa pendekatan terbaru menunjukkan peningkatan akurasi dalam mendeteksi gejala awal glaukoma, mulai dari penggunaan model CNN seperti EfficientNet dan ResNet-50, hingga metode ensemble dan Transformer yang digunakan dalam studi AIROGS 2024. Tiga solusi paling relevan dengan sistem berbasis *fundus image* akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

1.3.1 Pendekatan Deep Learning Berbasis *Fundus Image* untuk Deteksi Glaukoma Otomatis

Pada tahun 2022, Mir Tanvir Islam dan timnya mengembangkan sistem deteksi glaukoma otomatis berbasis citra fundus menggunakan berbagai arsitektur deep learning, seperti EfficientNet, MobileNet, DenseNet, dan GoogleNet [5].

Data yang digunakan berasal dari Bangladesh *Eye Hospital*, dengan total 634 gambar *fundus* berwarna yang telah melalui proses segmentasi pada area *optic cup*, *disc*, dan pembuluh darah. Proses segmentasi ini bertujuan untuk memisahkan dan mengidentifikasi bagian-bagian penting dari gambar yang berhubungan dengan glaukoma, seperti pembuluh darah dan area *optic cup*, yang sangat relevan dalam mendiagnosis penyakit tersebut. Model EfficientNet-b3

memberikan hasil terbaik dengan akurasi 96,52%, menunjukkan bahwa pendekatan deep learning dapat menghasilkan deteksi glaukoma yang akurat berdasarkan citra fundus. Namun, keterbatasan jumlah dan keragaman data, terutama ketidakseimbangan antara gambar normal dan glaukoma, menjadi tantangan utama dalam meningkatkan kemampuan generalisasi model. Distribusi dataset yang tidak seimbang dengan 463 gambar normal dan 171 gambar glaukoma berpotensi mengurangi efektivitas model pada deteksi kasus glaukoma yang lebih jarang. Selain itu, variasi dalam kualitas gambar dan faktor demografis pasien yang terbatas juga mempengaruhi kemampuan model untuk diaplikasikan pada populasi yang lebih luas dan beragam. Untuk meningkatkan akurasi dan kemampuan generalisasi, pengumpulan dataset yang lebih besar dan lebih beragam sangat diperlukan. Penambahan teknik augmentasi data dan pendekatan transfer learning juga dapat membantu memperbaiki masalah ini.

Ringkasan keunggulan, kekurangan, dan keterbatasan pendekatan deteksi glaukoma otomatis ditunjukkan pada Tabel 1. 1 berikut.

Tabel 1. 1 Deteksi Glaukoma Otomatis

Keunggulan	Kekurangan	Keterbatasan
Menggunakan beberapa arsitektur <i>Deep Learning</i> yang kuat seperti EfficientNet, MobileNet, DenseNet, dan GoogleNet.	Ukuran dataset kecil, hanya 634 gambar <i>fundus</i> .	Potensi <i>overfitting</i> karena model mungkin terlalu menyesuaikan diri dengan data pelatihan.
Fokus pada <i>cropped optic cup</i> dan <i>disc segmentation</i> serta segmentasi pembuluh darah, yang penting dalam mendeteksi glaukoma.	Distribusi dataset tidak seimbang, yaitu 463 gambar normal dan 171 gambar glaukoma.	Variasi data terbatas, sehingga kemampuan generalisasi model pada populasi lebih luas diragukan (terkait demografi, kondisi, kualitas gambar).

Pada Tabel 1. 1 keunggulan dari pendekatan ini adalah penggunaan beberapa arsitektur Deep Learning yang kuat, seperti EfficientNet, MobileNet, DenseNet, dan GoogleNet, yang dapat meningkatkan akurasi deteksi. Selain itu, fokus pada segmentasi *cropped optic cup*, *disc*, dan pembuluh darah sangat penting dalam mendeteksi glaukoma. Namun, terdapat kekurangan terkait dengan ukuran dataset yang kecil, hanya 634 gambar *fundus*, serta distribusi dataset yang tidak seimbang dengan 463 gambar normal dan 171 gambar glaukoma. Hal ini berpotensi menyebabkan *overfitting*, di mana model terlalu menyesuaikan diri dengan data pelatihan dan

tidak mampu menggeneralisasi dengan baik. Keterbatasan lainnya adalah variasi data yang terbatas, yang dapat mempengaruhi kemampuan model dalam mengenali kondisi pasien dengan demografi atau kualitas gambar yang berbeda.

1.3.2 Optimalisasi Model ResNet-50 dengan Transfer Learning dalam Klasifikasi Citra *Fundus*

Penelitian ini memanfaatkan arsitektur deep learning ResNet-50 untuk mendeteksi glaukoma secara otomatis dari citra *fundus*. Model dilatih menggunakan empat dataset berbeda, yaitu G1020, DRISHTI-GS, RIM-ONE, dan ORIGA. Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi, digunakan pendekatan transfer learning agar proses pelatihan lebih cepat, serta augmentasi data guna mengatasi overfitting karena keterbatasan jumlah gambar. Hasilnya menunjukkan performa tinggi, terutama pada dataset G1020, dengan akurasi 98,48%, sensitivitas 99,30%, dan spesifisitas 96,52%. Namun, performa pada dataset ORIGA lebih rendah, khususnya karena praproses gambar yang kurang optimal, yang mempengaruhi spesifisitas [5].

Tabel 1. 2 berikut merangkum keunggulan, kekurangan, dan keterbatasan dari proses optimasi arsitektur ResNet-50 untuk klasifikasi citra fundus.

Tabel 1. 2 Optimasi *RestNet50* untuk Klasifikasi Fundus

Keunggulan	Kekurangan	Keterbatasan
Transfer learning dan augmentasi digunakan dengan baik.	Kinerja lebih rendah pada dataset ORIGA.	Masalah pada tahap praproses gambar.
Hasil akurasi sangat tinggi pada dataset G1020.	Spesifisitas pada ORIGA menurun.	Pengaruh kualitas data pada performa model.

Berdasarkan Tabel 1. 2, keunggulan dari pendekatan ini adalah penggunaan transfer learning dan augmentasi data yang efektif, yang menghasilkan akurasi tinggi pada dataset G1020. Namun, terdapat kekurangan pada kinerjanya yang lebih rendah ketika diuji pada dataset ORIGA, dengan spesifisitas yang menurun. Keterbatasan lainnya adalah masalah pada tahap praproses gambar, yang mempengaruhi kualitas data dan, pada akhirnya, performa model.

1.3.3 Evaluasi Kinerja Ensembel CNN dan Transformer pada Dataset *Fundus* Global: Studi AIROGS

Studi ini merupakan bagian dari tantangan AIROGS (*Artificial Intelligence for Robust Glaucoma Screening*) tahun 2024, yang berfokus pada deteksi dini glaukoma berbasis citra *fundus*. Dataset utama berasal dari The Rotterdam EyePACS AIROGS serta *external* dataset. Metode utama yang digunakan adalah ensembel CNN, dan juga model berbasis *Transformer*, yang dianggap lebih efektif dalam memahami hubungan jangka panjang dalam data medis visual. Model yang dikembangkan mampu mencapai sensitivitas sebesar 0,85 dengan interval kepercayaan 95% (0,83 – 0,87), yang mendekati performa ahli manusia [6]. Namun, keterbatasan utama terletak pada cakupan dataset yang dominan berasal dari Amerika Serikat, sehingga generalisasi model untuk populasi global masih perlu ditingkatkan.

Tabel 1. 3 berikut menyajikan ringkasan keunggulan, kekurangan, dan keterbatasan dari hasil evaluasi metode ensemble CNN dalam deteksi glaukoma.

Tabel 1. 3 Evaluasi Ensembel CNN dan Glaukoma

Keunggulan	Kekurangan	Keterbatasan
Fokus pada cropped optic cup dan disc segmentation serta segmentasi pembuluh darah, yang penting dalam mendeteksi glaukoma.	Hanya laporkan sensitivitas, metrik lain tidak tersedia.	Perlu perluasan cakupan data global agar model lebih general.
Sensitivitas mencapai (0,85), mendekati performa ahli manusia.	Belum optimal untuk wilayah non-AS.	Dataset dominan dari AS.

Berdasarkan Tabel 1. 3, Sistem ini unggul dalam segmentasi untuk deteksi glaukoma dengan sensitivitas 0,85, mendekati ahli manusia. Namun, hanya sensitivitas yang dilaporkan, dan dataset dominan dari AS, belum optimal untuk wilayah non-AS. Perluasan data global diperlukan untuk meningkatkan generalisasi model.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Proyek ini bertujuan membangun sistem deteksi dini glaukoma secara *real-time* menggunakan model CNN untuk menganalisis citra *fundus*. *Smartphone* dipasangkan ke

kamera *pantoscopic ophthalmoscope* menggunakanudukan khusus (*grip*), sehingga dapat digunakan untuk menangkap citra *fundus* dari retina. Gambar yang diperoleh kemudian langsung diproses oleh aplikasi *mobile* yang terintegrasi dengan model *deep learning*. Solusi ini diharapkan mempermudah deteksi awal glaukoma, khususnya di daerah dengan keterbatasan akses layanan kesehatan, serta membantu mencegah risiko kebutaan.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi dini glaukoma berbasis citra fundus real-time dengan menggunakan aplikasi mobile yang dipasang pada pantoscopic ophthalmoscope. Citra retina yang diambil kemudian dianalisis menggunakan model CNN untuk klasifikasi gambar medis. Sistem ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan perangkat diagnosis di fasilitas dengan sumber daya rendah dan mempercepat proses deteksi, dengan target akurasi minimal 80% untuk mendukung keputusan medis yang cepat dan akurat.