

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Katarak merupakan kondisi opasitas lentikular yang mengaburkan lensa transparan di mata manusia, yang dalam kondisi normal lensa berfungsi untuk menyatukan cahaya ke retina [1]. Katarak dapat berkembang akibat proses penuaan, trauma, penyakit tertentu, atau faktor genetik. Ketika katarak berkembang, cahaya terhalang dan tidak dapat mencapai retina dengan optimal, mengakibatkan penurunan ketajaman penglihatan.

Berdasarkan data Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), terdapat 285 juta orang di dunia yang mengalami gangguan penglihatan, di mana katarak bertanggung jawab atas 33% gangguan penglihatan dan 51% kasus kebutaan. Proyeksi Flaxman pada tahun 2020 memperkirakan jumlah penderita gangguan penglihatan sedang hingga berat (MSVI) mencapai 237,1 juta orang, sedangkan penderita kebutaan mencapai 38,5 juta orang. Dari jumlah tersebut, katarak menjadi penyebab 57,1 juta kasus MSVI (24%) dan 13,4 juta kasus kebutaan (35%) [2].

Tantangan dalam penanganan katarak masih banyak, terutama karena penyakit ini berkembang secara bertahap serta sering kali tidak menunjukkan gejala pada tahap awal. Deteksi dini menjadi kunci untuk mencegah kebutaan sekaligus menghindari prosedur operasi yang kompleks dan mahal. Mengingat prediksi bahwa angka kebutaan global akan melampaui 40 juta pada tahun 2025, diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif dan sistematis dalam upaya pencegahan maupun penanganan katarak. Deteksi pada tahap awal sangat penting karena katarak masih dapat dikoreksi dengan pengobatan ringan atau penggunaan kacamata korektif. Kondisi minimal yang masih dapat ditangani tanpa operasi umumnya ditandai dengan penurunan ketajaman penglihatan ringan, penglihatan buram pada malam hari, atau sensitivitas cahaya, yang dapat diatasi melalui perubahan resep kacamata atau penggunaan obat tetes sesuai anjuran dokter. Jika dibiarkan berkembang hingga tahap *mature*, satu-satunya solusi adalah operasi. Meskipun operasi katarak umumnya aman dan efektif, pelaksanaannya memerlukan fasilitas serta tenaga spesialis yang belum tentu tersedia di daerah terpencil. Dengan adanya sistem deteksi awal, penderita dapat segera ditangani sebelum mengalami kebutaan permanen.

1.2 Analisis Masalah

Masalah utama dalam deteksi awal penyakit katarak adalah keterbatasan akses dan ketidakakuratan diagnosis yang disebabkan oleh kurangnya fasilitas kesehatan dan tenaga medis di Daerah terpencil. Berikut adalah rincian setiap aspek dari permasalahan ini.

1.2.1 Aspek Ekonomi

Kerugian ekonomi yang signifikan akibat kegagalan deteksi dini katarak dapat mencapai Rp 357,82 milyar per tahun di Lombok barat, dengan hilangnya *Quality Adjusted Life Years* (QALYs) sebesar 12.478 untuk kebutaan dan 7.269 untuk gangguan penglihatan berat; sementara itu, operasi katarak, yang merupakan intervensi hemat biaya, dapat memberikan keuntungan ekonomi sebesar Rp 157,79 milyar dengan restorasi 8.708 QALYs, namun angka operasi katarak per satu juta populasi masih minim, sekitar ± 1600 , jauh di bawah target CSR sebesar 2000-3000 pada tahun 2030 [3].

1.2.2 Aspek Kesehatan

Katarak adalah penyebab utama kebutaan, terutama di kalangan lansia di Indonesia. Prevalensi yang tinggi dan rendahnya kesadaran masyarakat mengenai deteksi dini, meningkatkan risiko kehilangan penglihatan permanen. Keterbatasan akses ke pemeriksaan mata mengakibatkan keterlambatan diagnosis dan dapat memperburuk kondisi, menciptakan beban kesehatan yang signifikan [4].

1.2.3 Aspek Sumber Daya Manusia

Distribusi Tenaga Medis di Indonesia, rasio dokter spesialis mata terhadap populasi masih sangat rendah, dengan konsentrasi tertinggi di Pulau Jawa. Data menunjukkan bahwa dari sekitar 1.600 dokter spesialis mata yang ada, 70% terkonsentrasi di Kota-Kota besar. Banyak Provinsi hanya memiliki kurang dari 10 dokter spesialis mata, sementara beberapa Kabupaten bahkan tidak memiliki spesialis mata sama sekali [5].

1.3 Analisis Solusi yang Ada

1.3.1 *Slit-Lamp Biomicroscopy*

Slit lamp (lampu celah) merupakan alat pemeriksaan medis berupa mikroskop dengan sumber cahaya intensitas tinggi yang dapat difokuskan melalui celah yang dapat disesuaikan. Instrumen ini memungkinkan pemeriksaan mendetail terhadap struktur anterior dan posterior mata, termasuk kornea, iris, lensa, serta bagian anterior vitreous. Selain itu, *slit lamp* juga dapat digunakan untuk mendokumentasikan kondisi mata melalui sistem fotografi, sehingga membantu analisis kuantitatif peradangan atau kelainan lain pada kornea [6].

Kelebihan:

- Menyediakan visualisasi dengan resolusi tinggi dan detail.
- Dapat digunakan untuk berbagai diagnosis kelainan mata, termasuk katarak.

Kekurangan:

- Membutuhkan keahlian medis tinggi dalam interpretasi hasil.
- Bersifat stasioner dan tidak praktis untuk penggunaan di daerah terpencil.

1.3.2 *Ophthalmoscopy* (Funduscopy)

Ophthalmoscopy adalah metode non-invasif yang memungkinkan visualisasi fundus oculi (bagian belakang mata) meliputi retina, diskus optik, makula, dan pembuluh darah retina, menggunakan alat yang disebut *ophthalmoscope*. Teknik ini umum digunakan untuk mendeteksi kelainan mata dan penyakit sistemik dengan manifestasi pada retina. Selain itu, *ophthalmoscopy* juga sering dimanfaatkan untuk mendokumentasikan citra fundus yang kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan teknologi *deep learning*, misalnya untuk deteksi otomatis glaukoma [7].

Kelebihan:

- Dapat dilakukan secara langsung dan cepat oleh dokter.
- Alatnya relatif portabel dan banyak digunakan dalam praktik klinis.

Kekurangan:

- Kualitas hasil sangat bergantung pada keterampilan operator.
- Tidak mendukung digitalisasi atau pengolahan otomatis.

1.3.3 Pemeriksaan Ketajaman Visual (*Visual Acuity Test*)

Pemeriksaan ketajaman visual mengukur kemampuan sistem penglihatan dalam mengidentifikasi dan membedakan objek dalam kondisi kontras tinggi. Tes ini umum digunakan dalam diagnosis kelainan mata, evaluasi terapi, dan penilaian kelayakan untuk aktivitas tertentu seperti mengemudi. Saat ini, pemeriksaan ketajaman visual juga dapat dilakukan secara otomatis dengan bantuan teknologi *deep learning* untuk mempercepat proses penilaian, seperti yang dikembangkan dalam sistem RAAV [8].

Kelebihan:

- Mudah dilakukan dan tidak membutuhkan alat kompleks.
- Sesuai untuk skrining awal dan kegiatan survei massal.

Kekurangan:

- Tidak mengidentifikasi jenis gangguan secara spesifik seperti katarak.
- Hasil dapat dipengaruhi oleh kondisi subjektif pasien.

1.3.4 Pemeriksaan Refleksi Cahaya Pada Retina (*Retinoscopy*)

Retinoscopy adalah metode diagnostik objektif untuk mengukur kesalahan refraksi dengan menganalisis pantulan cahaya dari retina. Cahaya diarahkan melalui pupil ke mata, dan gerakan refleksi diamati untuk menentukan nilai refraksi. Pengembangan sistem retinoskopi otomatis dengan teknologi *adaptive optics* juga telah dilakukan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemeriksaan [9].

Kelebihan:

- Memberikan hasil kuantitatif yang akurat mengenai kelainan refraksi.
- Cocok untuk pasien anak-anak dan non-verbal.

Kekurangan:

- Tidak dirancang untuk deteksi langsung katarak.
- Sulit dilakukan pada pasien dengan lensa keruh akibat katarak.

1.3.5 *Optical Coherence Tomography* (OCT)

OCT adalah teknologi pencitraan non-invasif yang menggunakan cahaya koheren untuk menghasilkan gambar penampang beresolusi mikroskopik dari jaringan biologis. Teknik ini mampu menampilkan gambar *cross-sectional* dengan resolusi 1–15 μm dan kedalaman beberapa milimeter, memungkinkan visualisasi internal tanpa kontak langsung atau radiasi. Seiring perkembangannya, OCT telah banyak digunakan dalam bidang oftalmologi untuk mendeteksi dan memantau berbagai penyakit mata secara akurat [10].

Kelebihan:

- Menyediakan gambar beresolusi tinggi dan akurasi tinggi.
- Prosedur non-invasif dan tidak menimbulkan rasa sakit.

Kekurangan:

- Peralatan mahal dan terbatas pada fasilitas kesehatan tingkat lanjut.
- Tidak portabel dan memerlukan operator terlatih.

Metode konvensional seperti *slit-lamp*, *ophthalmoscopy*, *retinoscopy*, dan OCT memiliki akurasi tinggi serta mampu memberikan visualisasi detail terhadap struktur mata. Namun, alat-alat tersebut umumnya bersifat stasioner, mahal, tidak portabel, dan memerlukan tenaga medis

terlatih, sehingga tidak efisien untuk skrining berskala luas. Di sisi lain, metode sederhana seperti pemeriksaan ketajaman visual memang mudah diakses dan cocok untuk survei massal, tetapi tidak mampu mengidentifikasi gangguan spesifik seperti katarak. *Retinoscopy* juga terbatas jika media okular mengalami kekeruhan. Berdasarkan analisis ini, seluruh metode yang ada belum sepenuhnya mampu menjawab kebutuhan deteksi katarak secara cepat, praktis, dan merata. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi berupa aplikasi deteksi katarak, yang mampu mengotomatisasi proses identifikasi hanya dari citra mata. Solusi ini lebih portabel, tidak memerlukan alat medis kompleks, dan dapat diakses masyarakat luas tanpa kehadiran dokter spesialis. Dengan demikian, aplikasi ini menjadi alternatif yang menjanjikan dalam mendukung deteksi dini, efisiensi pemeriksaan, dan pemerataan layanan kesehatan, khususnya di wilayah dengan keterbatasan sarana dan tenaga medis.

1.4 Tujuan Capstone Design

Tujuan dari penyusunan *Capstone Design* adalah sebagai berikut:

- Merancang sistem deteksi katarak berbasis citra fundus mata menggunakan pendekatan *deep learning* untuk membantu proses identifikasi katarak secara otomatis dan efisien.
- Membangun dan melatih model *Convolutional Neural Network (CNN)* yang mampu mengklasifikasikan tingkat keparahan katarak ke dalam beberapa kelas (*Normal*, *Immature*, dan *Mature*).
- Mengintegrasikan sistem deteksi ke dalam aplikasi berbasis server *cloud*, sehingga pemrosesan dapat dilakukan secara daring melalui koneksi internet.
- Mengevaluasi performa sistem dengan menggunakan metrik seperti akurasi, presisi, *recall*, dan *confusion matrix* guna memastikan tingkat keandalan sistem dalam mendeteksi katarak.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- Produk ini hanya difokuskan pada deteksi tingkat katarak berdasarkan citra fundus mata manusia.
- *Dataset* yang digunakan terdiri atas tiga kelas, yaitu: *Normal*, *Immature*, dan *Mature*.
- Model *deep learning* yang diterapkan adalah *Convolutional Neural Network (CNN)*.
- Pemrosesan model CNN dilakukan di sisi *backend* berbasis *cloud* menggunakan *Python* dan *TensorFlow/Keras*.

- Komunikasi antara aplikasi *mobile* dan *backend* dilakukan melalui *REST API* dengan format data *JSON*.
- Aplikasi *mobile* yang dikembangkan hanya menampilkan hasil klasifikasi dari model yang telah dilatih.
- Sistem ini tidak mempertimbangkan faktor lain di luar citra mata, seperti riwayat medis atau gejala klinis pasien.