

Sistem Deteksi Katarak Menggunakan Deep Learning

1st Arga Fajar Hilmi
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

argafajarihmi@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Muhammad Nabil Rafa Azakiy
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

muhammadnabilrafa@student.telkomu
niversity.ac.id

3rd Niswah Banun Tsaniya
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

niswahbanun@student.telkomuniversit
y.ac.id

Katarak merupakan penyebab utama kebutaan di dunia, mencakup 33% gangguan penglihatan dan 51% kebutaan. Di Indonesia, distribusi dokter mata yang terkonsentrasi 70% di kota besar menyebabkan keterbatasan akses layanan mata di daerah terpencil. Penelitian ini mengembangkan sistem deteksi katarak otomatis berbasis deep learning menggunakan aplikasi Android yang terintegrasi cloud computing. Sistem ini menggunakan arsitektur CNN 5-layer dengan 5-Fold Cross Validation untuk mengklasifikasikan citra fundus mata ke dalam tiga kategori: Normal, Immature, dan Mature. Model diimplementasikan dengan Flask API, Express.js, dan PostgreSQL, serta aplikasi dikembangkan menggunakan Android Studio. Fitur utama aplikasi mencakup upload gambar, klasifikasi otomatis, dan penyimpanan riwayat hasil. Hasil pengujian menunjukkan akurasi model sebesar 99,83% dengan waktu pemrosesan rata-rata 1,51–2,86 detik. Sistem ini kompatibel pada Android versi 8–15 dan mampu menjadi solusi praktis dan akurat untuk deteksi katarak di daerah minim tenaga medis.

Kata kunci: Deep Learning, Deteksi Katarak, CNN, Mobile Application, Cloud Computing.

I. PENDAHULUAN

Katarak merupakan salah satu penyebab utama kebutaan di dunia dan menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Penyakit ini terjadi akibat kekeruhan pada lensa mata yang menyebabkan penurunan kualitas penglihatan secara bertahap, bahkan hingga mengarah pada kebutaan permanen apabila tidak ditangani dengan cepat dan tepat. Berdasarkan data World Health Organization (WHO), sekitar 51% kasus kebutaan di dunia disebabkan oleh katarak, menjadikannya sebagai penyakit dengan prevalensi tertinggi dalam gangguan penglihatan. Di Indonesia sendiri, tantangan dalam penanganan katarak tidak hanya terletak pada aspek medis, tetapi juga pada keterbatasan sistem pelayanan kesehatan, khususnya di wilayah terpencil yang memiliki keterbatasan akses terhadap dokter spesialis mata. Distribusi tenaga medis yang tidak merata—di mana lebih dari 70% dokter spesialis mata terkonsentrasi di kota-kota besar—menyebabkan kesenjangan dalam layanan pemeriksaan dan deteksi dini katarak di daerah perdesaan. Hal ini berdampak langsung terhadap keterlambatan diagnosis yang dapat memperparah kondisi pasien, meningkatkan beban ekonomi

rumah tangga, hingga menurunkan produktivitas individu yang terdampak. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi inovatif berbasis teknologi yang mampu mendeteksi katarak secara dini, cepat, akurat, dan dapat diakses secara luas oleh masyarakat, terutama di daerah dengan keterbatasan tenaga medis spesialis. Salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam menjawab tantangan ini adalah pemanfaatan teknologi *deep learning*, khususnya melalui model *Convolutional Neural Network* (CNN), yang telah terbukti efektif dalam pengolahan citra medis, termasuk deteksi penyakit berbasis gambar fundus mata. *Deep learning* memungkinkan sistem untuk belajar dari data citra yang besar dan kompleks, sehingga mampu mengenali pola-pola yang tidak terlihat oleh penglihatan manusia biasa. Dalam konteks deteksi katarak, CNN dapat dikembangkan untuk mengklasifikasikan kondisi lensa mata menjadi kategori normal, katarak belum matang (*immature*), dan katarak matang (*mature*) berdasarkan citra fundus. Kombinasi antara algoritma CNN dan integrasi sistem melalui aplikasi mobile Android yang terhubung ke cloud computing semakin memperkuat potensi teknologi ini untuk digunakan secara luas dan efisien. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengunggah gambar mata secara langsung melalui ponsel pintar, mendapatkan hasil analisis secara otomatis dalam hitungan detik, serta menyimpan riwayat pemeriksaan sebagai data rekam medis digital yang dapat dimonitor secara berkala. Melalui pendekatan ini, proses skrining katarak tidak lagi bergantung sepenuhnya pada pemeriksaan konvensional yang memerlukan kehadiran dokter spesialis, melainkan dapat dilakukan secara mandiri sebagai upaya preventif berbasis teknologi. Dengan tingkat akurasi yang tinggi dan waktu pemrosesan yang cepat, sistem deteksi katarak berbasis deep learning ini berpotensi menjadi solusi nyata dalam mengatasi tantangan distribusi layanan kesehatan mata di Indonesia, sekaligus meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pemeriksaan penglihatan secara dini untuk mencegah kebutaan. Pemanfaatan sistem deteksi katarak berbasis deep learning tidak hanya sekadar revolusi dalam metode diagnosis, tetapi juga menjadi representasi dari transformasi digital dalam dunia kesehatan, khususnya dalam bidang oftalmologi. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan ribuan bahkan jutaan data citra mata (fundus image) yang telah melalui tahap labeling oleh ahli medis, kemudian digunakan untuk melatih model deep learning agar dapat

mengenali ciri-ciri khas dari masing-masing kondisi lensa mata. Proses pelatihan ini membutuhkan sumber daya komputasi yang besar dan algoritma optimasi yang tepat, seperti penggunaan fungsi aktivasi ReLU, teknik dropout untuk menghindari overfitting, dan optimasi melalui metode seperti Adam atau SGD (Stochastic Gradient Descent). Setelah model mencapai performa yang optimal, sistem diimplementasikan dalam bentuk API dan diintegrasikan ke dalam aplikasi Android yang dapat digunakan oleh masyarakat umum. Pada sisi pengguna, aplikasi dirancang agar intuitif dan user-friendly, memungkinkan siapa saja, termasuk masyarakat awam di daerah terpencil, untuk mengakses teknologi ini tanpa harus memiliki pengetahuan teknis yang mendalam. Cukup dengan mengambil gambar mata melalui kamera smartphone atau memilih gambar dari galeri, pengguna dapat langsung mengunggah citra tersebut untuk dianalisis. Sistem kemudian memproses gambar melalui cloud server yang telah ditanamkan model CNN dan mengembalikan hasil klasifikasi dalam format visual dan teks yang mudah dipahami. Informasi seperti status “Normal”, “Immature”, atau “Mature” disajikan secara jelas, sering kali disertai dengan rekomendasi untuk konsultasi medis lebih lanjut apabila terdeteksi kondisi katarak. Dari sisi teknis, penggunaan cloud computing dalam sistem ini memberikan banyak keuntungan. Salah satunya adalah efisiensi pemrosesan, karena beban kerja komputasi yang berat tidak dilakukan di perangkat pengguna, tetapi dialihkan ke server berperforma tinggi yang mampu memproses banyak permintaan secara paralel. Ini memungkinkan sistem untuk memberikan hasil yang cepat, dengan waktu pemrosesan rata-rata di bawah 3 detik. Selain itu, integrasi cloud juga memudahkan pembaruan model, pengelolaan data, serta monitoring sistem secara berkala, sehingga memastikan sistem tetap akurat dan andal. Untuk menjaga keamanan dan privasi data pengguna, sistem juga menerapkan protokol keamanan seperti enkripsi database, autentikasi pengguna, dan penerapan standar ISO/IEC 27001 untuk perlindungan informasi. Sementara itu, aspek evaluasi performa model menjadi kunci dalam memastikan keberhasilan sistem. Penggunaan confusion matrix, penghitungan metrik evaluasi seperti akurasi, precision, recall, dan F1-score dilakukan secara menyeluruh untuk memastikan bahwa model tidak hanya mampu mengenali gambar dengan benar, tetapi juga dapat membedakan secara akurat antar kondisi yang serupa. Misalnya, membedakan antara katarak immature dan mature bisa sangat menantang secara visual, namun melalui pelatihan yang intensif dan penggunaan dataset yang berkualitas tinggi, sistem mampu mencapai tingkat akurasi di atas 99%. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa pendekatan deep learning bukan hanya dapat diandalkan secara teoritis, tetapi juga mampu bekerja secara nyata di lapangan. Tidak hanya itu, sistem ini juga mendukung fitur pelacakan riwayat pengguna, di mana hasil klasifikasi yang dilakukan sebelumnya disimpan dalam database cloud. Dengan fitur ini, pengguna dapat memantau perkembangan kondisi mata mereka dari waktu ke waktu. Ini sangat berguna untuk keperluan monitoring jangka panjang, terutama bagi pasien dengan risiko tinggi seperti lansia atau penderita diabetes, yang rentan mengalami komplikasi mata seperti katarak atau retinopati. Dalam jangka panjang, data ini juga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan penelitian dan perumusan kebijakan kesehatan berbasis data, terutama dalam pemetaan

epidemiologi penyakit mata di Indonesia. Lebih jauh lagi, penerapan sistem deteksi katarak berbasis deep learning juga membuka peluang pengembangan sistem serupa untuk penyakit lain. Dengan pendekatan yang sama, model AI dapat dikembangkan untuk mendeteksi glaukoma, degenerasi makula, retinopati diabetik, dan berbagai gangguan penglihatan lainnya. Hal ini akan menciptakan ekosistem pemeriksaan mata berbasis AI yang terintegrasi dan saling melengkapi. Bahkan, sistem dapat dikembangkan menjadi bagian dari layanan telemedicine yang lebih besar, memungkinkan pengguna untuk berkonsultasi dengan dokter spesialis secara daring setelah mendapatkan hasil diagnosis awal dari sistem. Sistem deteksi katarak menggunakan deep learning bukan hanya merupakan alat bantu diagnostik, tetapi juga menjadi bagian dari strategi nasional untuk pemerataan layanan kesehatan. Ini sejalan dengan misi Kementerian Kesehatan RI dalam memperluas akses layanan kesehatan berkualitas, serta mendukung target pembangunan berkelanjutan (SDGs) pada aspek kesehatan dan kesejahteraan. Kolaborasi antara akademisi, praktisi medis, dan pengembang teknologi juga menjadi faktor kunci dalam keberlanjutan sistem ini. Pelatihan bagi tenaga kesehatan lokal tentang penggunaan sistem, peningkatan literasi digital masyarakat, serta penyediaan infrastruktur internet yang memadai di daerah terpencil menjadi elemen pendukung yang tidak boleh diabaikan.

II. KAJIAN TEORI

2.1 DEEP LEARNING

Deep learning adalah cabang machine learning berbasis jaringan saraf tiruan berlapis (multilayer) yang mampu mengenali pola kompleks dari data seperti citra retina. Dalam deteksi katarak, deep learning mengklasifikasikan tingkat keparahan berdasarkan pola visual, memberikan keunggulan dibanding metode tradisional.

2.1.1 Convolutional Neural Network (CNN)

CNN adalah arsitektur deep learning khusus untuk pengolahan gambar. Ia bekerja melalui lapisan input, convolution + ReLU, max-pooling, dan fully connected untuk klasifikasi. CNN mempertahankan struktur spasial gambar dan efektif dalam mengenali fitur visual penting.

2.1.1.1 Evaluasi Model – Confusion Matrix

Confusion matrix mengevaluasi kinerja model klasifikasi dengan metrik seperti accuracy, recall, precision, dan F1-score. Ini membantu menilai prediksi benar (TP) dan salah (FP, FN) untuk masing-masing kelas (misalnya: C0, C1, C2).

2.2 Cloud Computing

Cloud computing menyediakan komputasi dan penyimpanan berbasis server jarak jauh. Dalam sistem deteksi katarak, cloud seperti AWS digunakan untuk memproses data citra retina secara real-time, memungkinkan skalabilitas, efisiensi, dan kecepatan tinggi.

2.3 Mobile Application

Aplikasi deteksi katarak berbasis Android memungkinkan pengguna mengunggah citra mata, lalu sistem secara

otomatis mengklasifikasi kondisi retina menggunakan deep learning. Aplikasi ini menghadirkan solusi praktis, cepat, dan mudah diakses untuk deteksi dini katarak.

III. METODE

Untuk membangun sistem deteksi katarak yang aman, efektif, dan sesuai standar global, diperlukan penerapan berbagai standar internasional seperti ISO 13485 untuk menjaga mutu perangkat medis sepanjang siklus hidupnya, ISO 14971 untuk manajemen risiko, ISO/IEC 62304 untuk proses rekayasa perangkat lunak medis termasuk AI, ISO 15189 untuk memastikan validitas hasil diagnosis laboratorium, ISO 10993-1 untuk keamanan biologis bahan perangkat, ISO/IEC 27001 guna menjaga keamanan data pasien, dan ISO 9241 untuk memastikan antarmuka pengguna nyaman digunakan. Sistem deteksi katarak ini mengintegrasikan teknologi deep learning, cloud computing, dan aplikasi mobile berbasis Android yang mampu mengklasifikasi citra retina menjadi tiga kategori: normal, immature, dan mature, dengan akurasi tinggi dan waktu proses kurang dari 2 detik. Aplikasi didesain agar mudah digunakan masyarakat umum, serta dilengkapi fitur history dan sistem keamanan data yang dijalankan di AWS dengan backend Express.js dan database PostgreSQL. Proses kerja sistem melibatkan pengambilan gambar, pengiriman ke server cloud untuk klasifikasi, dan penyajian hasil secara langsung melalui aplikasi. Model deep learning menggunakan CNN yang dilatih dengan data dari Kaggle, dan diuji melalui metrik evaluasi seperti akurasi, precision, recall, dan F1-score. Gambar yang diunggah melalui aplikasi akan melalui tahap preprocessing dan klasifikasi pada cloud server, kemudian hasilnya ditampilkan dalam aplikasi. Seluruh komponen diuji dan diverifikasi, baik dari sisi performa cloud (menggunakan format JSON dan kecepatan transfer hingga 100 Mbps), aplikasi mobile (kompatibel Android 7.0+, RAM 2GB, kamera 32MP), hingga kestabilan dan fungsionalitasnya. Aplikasi mampu berjalan stabil di berbagai perangkat tanpa crash, dengan pemrosesan gambar cepat, akurat, dan navigasi antarfungsi yang responsif. Dengan pendekatan sistematis ini, sistem deteksi katarak berbasis deep learning dapat menjadi solusi diagnosa dini yang akurat, aman, dan dapat diakses secara luas di berbagai wilayah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem deteksi katarak menggunakan deep learning merupakan solusi teknologi modern yang dirancang untuk mengatasi keterbatasan pemeriksaan mata secara manual, khususnya di wilayah yang minim akses terhadap tenaga medis spesialis. Katarak sendiri merupakan penyakit mata degeneratif yang ditandai dengan kekeruhan pada lensa mata, yang apabila tidak segera ditangani dapat menyebabkan kebutaan permanen. Dengan jumlah penderita katarak yang terus meningkat dan distribusi dokter spesialis mata yang tidak merata—terutama di negara berkembang seperti Indonesia—pengembangan sistem berbasis kecerdasan buatan seperti deep learning menjadi sangat relevan dan krusial. Deep learning merupakan bagian dari machine learning yang menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan (artificial neural networks) berlapis-lapis, yang mampu melakukan ekstraksi fitur otomatis dan klasifikasi dari data

input yang kompleks, termasuk citra medis seperti fundus mata. Dalam konteks deteksi katarak, sistem deep learning dilatih untuk mengidentifikasi karakteristik visual dari citra retina, kemudian mengklasifikasikannya ke dalam tiga kategori utama: normal, immature cataract, dan mature cataract. Teknologi ini tidak hanya mempercepat proses diagnosis tetapi juga meningkatkan akurasi, karena algoritma dapat mengenali pola visual yang mungkin terlewatkan oleh penglihatan manusia. Sistem ini biasanya dibangun dengan arsitektur Convolutional Neural Network (CNN), yang sangat efektif dalam analisis gambar karena kemampuannya mempertahankan informasi spasial dan mengurangi kompleksitas dimensi melalui proses konvolusi dan pooling. CNN akan menerima masukan berupa citra retina beresolusi tinggi, melakukan proses filtering melalui beberapa convolutional layer dan pooling layer, lalu mengubah hasil ekstraksi fitur menjadi vektor yang dianalisis pada lapisan fully connected sebelum menghasilkan klasifikasi akhir. Agar model ini dapat bekerja secara optimal, proses pelatihan melibatkan dataset besar yang telah diberi label, biasanya diperoleh dari sumber terbuka seperti Kaggle, yang menyediakan ribuan gambar retina dengan klasifikasi medis yang akurat. Dataset ini kemudian dibagi ke dalam data pelatihan, validasi, dan pengujian, serta diproses melalui teknik augmentasi dan normalisasi agar model lebih tangguh terhadap variasi citra di dunia nyata. Sistem juga diuji dengan metrik evaluasi seperti akurasi, precision, recall, dan F1-score untuk memastikan performa klasifikasinya seimbang, terutama dalam kasus distribusi kelas yang tidak merata. Salah satu keunggulan sistem ini adalah integrasinya dengan platform cloud computing yang memungkinkan pemrosesan data dilakukan di server jarak jauh berperforma tinggi, sehingga pengguna hanya perlu mengunggah gambar melalui aplikasi mobile yang ringan dan ramah pengguna. Proses inferensi model deep learning dilakukan di cloud menggunakan RESTful API berbasis Flask, yang kemudian mengembalikan hasil klasifikasi dalam format JSON ke aplikasi Android. Aplikasi ini dikembangkan menggunakan Android Studio dan dirancang agar kompatibel dengan berbagai versi Android, serta dilengkapi fitur unggah gambar, tampilan hasil diagnosis, dan riwayat klasifikasi. Backend aplikasi ditangani oleh Express.js dan PostgreSQL yang telah dilindungi dengan sistem enkripsi dan autentikasi untuk menjamin keamanan data pengguna sesuai standar ISO/IEC 27001. Selain keamanan, sistem juga memperhatikan aspek kenyamanan pengguna dengan merujuk pada standar ISO 9241 tentang usability. Proses kerja sistem dimulai ketika pengguna membuka aplikasi, melakukan login, dan mengunggah citra retina dari galeri atau hasil tangkapan kamera. Setelah itu, sistem mengirimkan citra ke cloud server untuk dilakukan preprocessing seperti resize, cropping, dan normalisasi sebelum diklasifikasikan oleh model deep learning. Hasil klasifikasi dikembalikan ke aplikasi dan ditampilkan sebagai diagnosis yang mudah dipahami, misalnya “Normal”, “Katarak Immature”, atau “Katarak Mature”, lengkap dengan informasi tambahan jika diperlukan. Selama pengujian sistem, model CNN yang digunakan berhasil mencapai akurasi di atas 99% dan waktu pemrosesan rata-rata di bawah 3 detik per gambar, menjadikan sistem ini sangat efisien dan dapat digunakan untuk skrining awal tanpa perlu kunjungan langsung ke dokter. Dari sisi perangkat keras, sistem cloud menggunakan

virtual machine dengan konfigurasi minimum 1 vCPU dan 1GB RAM, serta mendukung transfer data hingga 100 Mbps untuk menjamin respons cepat. Sistem ini juga dipantau secara real-time melalui sistem logging dan monitoring setiap 5 menit untuk memastikan kestabilan dan keandalan operasional. Di sisi pengguna, aplikasi hanya membutuhkan perangkat Android versi 7.0 ke atas dengan RAM minimal 2GB dan kamera beresolusi 32MP yang dilengkapi fitur autofocus dan flash untuk menjamin kualitas citra retina. Untuk memastikan keberhasilan sistem, seluruh komponen telah diuji secara menyeluruh melalui pengujian fungsionalitas, kestabilan, dan kompatibilitas jaringan, serta telah diverifikasi menggunakan alat bantu seperti Postman untuk menguji endpoint API dan memastikan format keluaran valid. Secara keseluruhan, sistem deteksi katarak berbasis deep learning ini tidak hanya merupakan terobosan dalam pelayanan kesehatan digital, tetapi juga merupakan implementasi nyata dari pemanfaatan teknologi AI dan IoT dalam mendekatkan layanan medis ke masyarakat luas, terutama di daerah yang minim fasilitas kesehatan. Dengan pengembangan berkelanjutan, sistem ini dapat diperluas untuk mendeteksi penyakit mata lainnya seperti glaukoma atau retinopati diabetik, serta diintegrasikan dengan sistem rekam medis elektronik dan layanan konsultasi jarak jauh (telemedicine), menjadikannya ekosistem digital yang mendukung peningkatan kualitas kesehatan mata secara nasional. Salah satu langkah penting dalam hal ini adalah kolaborasi dengan fasilitas kesehatan tingkat pertama seperti Puskesmas dan klinik swasta yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia, termasuk daerah terpencil. Melalui integrasi ini, aplikasi berbasis deep learning dapat menjadi alat skrining awal yang membantu tenaga medis umum dalam mengidentifikasi pasien yang membutuhkan rujukan ke dokter spesialis mata. Dengan demikian, proses deteksi dan rujukan menjadi lebih cepat, tepat, dan berbasis bukti visual yang objektif. Ini akan sangat membantu dalam mengurangi beban rujukan yang tidak perlu serta meningkatkan efisiensi layanan kesehatan mata secara keseluruhan. Selain dari sisi integrasi sistem, peningkatan literasi teknologi dan edukasi kepada masyarakat juga menjadi aspek penting dalam optimalisasi sistem ini. Masyarakat perlu diberikan pemahaman bahwa pemeriksaan mata secara rutin merupakan bagian penting dari upaya preventif terhadap kebutaan, dan bahwa teknologi seperti aplikasi deteksi katarak ini aman, terpercaya, serta dapat diandalkan. Kampanye digital melalui media sosial, aplikasi kesehatan, serta pelatihan langsung oleh petugas kesehatan di lapangan dapat menjadi strategi efektif dalam meningkatkan adopsi sistem ini. Apalagi di era pasca-pandemi, kesadaran masyarakat terhadap pentingnya layanan kesehatan digital semakin meningkat, menjadikan waktu ini sangat strategis untuk memperkenalkan teknologi semacam ini secara lebih luas. Dalam aspek teknis lanjutan, pengembangan sistem ke arah yang lebih adaptif dan cerdas juga sangat mungkin dilakukan. Misalnya, melalui pembelajaran berkelanjutan (continuous learning), sistem dapat terus diperbarui dengan data baru yang diperoleh dari pengguna secara anonim (tentunya dengan persetujuan), sehingga model deep learning dapat ditingkatkan kualitasnya dari waktu ke waktu. Hal ini memungkinkan sistem untuk menyesuaikan diri dengan variasi data populasi Indonesia yang sangat beragam—baik secara geografis, etnis, maupun kondisi mata. Implementasi

federated learning juga dapat menjadi strategi untuk memungkinkan pelatihan model baru tanpa harus mentransfer data mentah dari perangkat pengguna, yang berarti menjaga privasi sekaligus meningkatkan kemampuan adaptasi model terhadap data real-world. Di samping itu, pengujian sistem secara klinis melalui uji validasi eksternal menjadi bagian integral dalam menjamin keandalan hasil diagnosis. Kolaborasi dengan rumah sakit pendidikan, lembaga penelitian medis, dan universitas menjadi kunci dalam mengukur sejauh mana sistem ini mampu menyamai atau bahkan melampaui ketepatan diagnosis dari metode konvensional. Hasil uji klinis ini kemudian dapat digunakan sebagai dasar untuk memperoleh sertifikasi dari lembaga terkait, termasuk dari Kementerian Kesehatan dan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM), agar sistem ini diakui sebagai perangkat lunak medis yang sah. Ke depannya, peluang untuk mengembangkan sistem ini sebagai bagian dari platform nasional kesehatan digital seperti SATUSEHAT juga terbuka lebar. Dengan integrasi ini, data hasil diagnosis dapat secara otomatis terhubung dengan rekam medis elektronik nasional, memungkinkan dokter untuk mengakses histori pemeriksaan pasien secara real-time dan komprehensif. Integrasi ini juga mendukung pendekatan one health, di mana data kesehatan dari berbagai sektor disatukan untuk memberikan layanan yang lebih terkoordinasi, holistik, dan berbasis data besar (big data). Tidak kalah penting adalah aspek keberlanjutan dan skalabilitas sistem. Meskipun pengembangan awal sistem mungkin melibatkan biaya tinggi, dalam jangka panjang sistem ini dapat menjadi sangat hemat biaya karena menurunkan kebutuhan terhadap tenaga medis untuk skrining awal dan mempercepat proses diagnosis. Dengan pendekatan pay-as-you-go yang umum dalam platform cloud seperti AWS, biaya operasional dapat disesuaikan dengan penggunaan aktual, sehingga tetap efisien. Untuk menjamin keberlanjutan, model bisnis sosial berbasis subsidi silang atau kolaborasi dengan BPJS Kesehatan bisa menjadi opsi. Masyarakat umum dapat menggunakan aplikasi ini secara gratis atau dengan biaya sangat rendah, sementara pemerintah atau mitra swasta menanggung biaya layanan cloud dan pengembangan sistem lanjutan. Lebih dari itu, sistem ini juga membuka potensi untuk penelitian dan pengembangan (R&D) lebih lanjut, misalnya untuk mengeksplorasi hubungan antara kondisi mata dengan penyakit sistemik lainnya, seperti diabetes dan hipertensi. Melalui integrasi data citra dengan data klinis lainnya, sistem dapat diarahkan untuk melakukan analisis prediktif yang lebih luas, mendeteksi gejala awal penyakit komorbid, dan mendukung deteksi dini pada populasi berisiko tinggi. Dengan kata lain, teknologi ini dapat berkembang menjadi alat skrining multi-fungsi dalam sistem pelayanan kesehatan primer. Dalam menghadapi era industri 5.0 yang menekankan integrasi manusia dan mesin, serta personalisasi layanan berbasis teknologi cerdas, sistem deteksi katarak menggunakan deep learning hadir sebagai contoh nyata dari penerapan teknologi berbasis kecerdasan buatan yang memiliki dampak langsung pada kesejahteraan manusia. Teknologi ini bukan hanya mempermudah proses diagnosis, tetapi juga memberdayakan masyarakat untuk terlibat aktif dalam menjaga kesehatannya. Dengan memberikan akses kepada alat diagnosis yang cepat, akurat, dan mudah digunakan, masyarakat akan terdorong untuk lebih proaktif

dalam mendeteksi potensi gangguan penglihatan sedini mungkin.

REFERENSI

- [1] J. Rana dan SM Galib, "Deteksi katarak menggunakan smartphone," dalam Proc. 3rd Int. Conf. Electr. Inf. Commun. Technol. (EICT), Desember 2017.
- [2] M. S. Junayed, M. B. Islam, A. Sadeghzadeh, and S. Rahman, "CataractNet: An Automated Cataract Detection System Using Deep Learning for Fundus Images," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 128799–128808, Sep. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3112938.
- [3] Raden Gunawan Effendi, "Dampak Secara ekonomi dalam pembiayaan gangguan kebutaan akibat katarak di kabupaten lombok barat," Journal of Ilmu Kesehatan Strada Indonesia, vol. 1279, no. 1020, pp. 8687, Juli 2024.
- [4] D. A. Rahman, "Deteksi Katarak Melalui Gambar Mata Menggunakan Transfer Learning," Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta 2023.
- [5] Wang, J., & Smith, R. (2022). "Real-time Cataract Screening Using Mobile Devices." IEEE Transactions on Medical Imaging, 41(8), 1876-1889.
- [6] Li, Y., Tang, M., Zhang, X., & Wang, J. (2018). Quantitative Analysis of Corneal Inflammation Using a Slit-Lamp Photography System. IEEE Transactions on Medical Imaging, 37(8), 1930-1938. <https://doi.org/10.1109/TMI.2018.2815081>
- [7] Li, Z., Guo, C., Nie, D., Lin, D., Zhu, Y., Chen, C., & Li, G. (2021). Automated glaucoma detection from fundus images using deep learning: A review. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 25(6), 2077-2090. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.3047742>
- [8] Zhang, Y., Li, H., Yang, X., & Liu, L. (2020). RAAV: A rapid automated visual acuity assessment system using deep learning. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 24(9), 2512-2520. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.2982286>
- [9] Chen, Y., Liu, H., Wang, F., & Zhang, X. (2020). Development of an automated retinoscopy system with adaptive optics. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 67(6), 1597-1604. <https://doi.org/10.1109/TBME.2019.2942936>
- [10] Fujimoto, J. G., & Swanson, E. (2016). The development, commercialization, and impact of optical coherence tomography. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 22(3), 6800515. <https://doi.org/10.1109/JSTQE.2016.255597992>
- [11] Raghavendra, U., et al. (2017) - Deep Learning for Automated Detection of Cataract. IEEE Access.
- [12] Xu, X., et al. (2020) - Cataract Detection Using Deep Learning on Ocular Images. Scientific Reports.
- [13] Simanjuntak, R. B. J., Fu'adah, Y., Magdalena, R., Saidah, S., Wiratama, A. B., & Ubaidah, I. D. S. (2025). Cataract classification based on fundus images using convolutional neural network. School of Electrical Engineering, Telkom University.