

# Desain Prototipe Teropong *Fundus* 3D Berbasis *Smartphone* dengan Lensa 20D untuk Deteksi Retina Katarak

Fabrobi Fazlur Ridha<sup>1</sup>, Muchtar Ali Setyo Yudono<sup>2,3</sup>, Dani Mardiyana<sup>4</sup>, Faturrohman Al-Ghozi<sup>5</sup>, Aldi Maulana<sup>6</sup>

<sup>1,4,5,6</sup>Teknik Mesin, Universitas Nusa Putra

Jl. Raya Cibolang Cisaat - Sukabumi No.21, Cibolang Kaler, Kec. Cisaat, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat 43152

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Universitas Nusa Putra

Jl. Raya Cibolang Cisaat - Sukabumi No.21, Cibolang Kaler, Kec. Cisaat, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat 43152

<sup>3</sup>Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten 42435

muchtar.ali@untirta.ac.id

---

## Abstrak

Katarak merupakan penyebab utama kebutaan di Indonesia, khususnya di daerah terpencil dengan akses terbatas terhadap layanan kesehatan mata. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi prototipe teropong *fundus* 3D berbasis *smartphone* yang mudah digunakan dan terjangkau guna meningkatkan akses pemeriksaan mata di wilayah tersebut. Desain perangkat mempertimbangkan aspek ergonomi, ukuran yang sesuai, serta kualitas citra yang dapat mendukung diagnosis katarak secara efektif. Evaluasi melibatkan dua dokter spesialis mata dan sejumlah pasien untuk menguji efektivitas, kenyamanan, dan kualitas perangkat yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe ini memiliki kualitas citra yang memadai untuk mendukung diagnosis, meskipun masih diperlukan peningkatan pada beberapa aspek teknis. Perangkat dinilai ergonomis, mudah dioperasikan, dan memiliki akurasi yang baik dalam mengklasifikasikan tingkat keparahan katarak. Selain itu, responden mengindikasikan bahwa perangkat ini dapat meningkatkan efisiensi dalam pemeriksaan klinis, terutama di daerah dengan keterbatasan akses kesehatan. Area perbaikan yang diidentifikasi meliputi kekokohan alat, peningkatan kualitas gambar, serta sistem pencahayaan untuk memastikan kejelasan citra yang optimal. Tingkat penerimaan pasien terhadap perangkat ini juga cukup tinggi, meskipun terdapat keluhan terkait instruksi penggunaan yang kurang jelas dan kualitas citra yang buram dalam kondisi tertentu. Secara keseluruhan, prototipe teropong *fundus* 3D berbasis *smartphone* ini memiliki potensi besar untuk diadopsi dalam praktik klinis, dengan beberapa perbaikan yang diperlukan untuk memastikan kualitas dan keandalan yang lebih optimal.

**Kata kunci:** 3d printing, akses kesehatan, katarak, retina, *smartphone*, teropong *fundus*

## Abstract

*Cataracts are the leading cause of blindness in Indonesia, particularly in remote areas with limited access to eye health services. This study aims to develop and evaluate a 3D funduscope prototype based on smartphone technology that is easy to use and affordable, in order to improve access to eye examinations in these regions. The device design considers ergonomics, appropriate size, and image quality that effectively supports cataract diagnosis. Evaluation involved two ophthalmologists and several patients to assess the effectiveness, comfort, and quality of the device produced. The study results indicate that the prototype provides sufficient image quality to support diagnosis, although improvements are needed in some technical aspects. The device was rated ergonomic, easy to operate, and demonstrated good accuracy in classifying cataract severity. Additionally, respondents indicated that the device could enhance efficiency in clinical examinations, especially in areas with limited healthcare access. Identified areas for improvement include device robustness, image quality enhancement, and lighting system optimization to ensure clear imaging. Patient acceptance of this device was also relatively high, although there were complaints regarding unclear usage instructions and blurred images under certain conditions. Overall, the smartphone-based 3D funduscope prototype holds significant potential for adoption in clinical practice, with some further refinements required to ensure optimal quality and reliability.*

*Keywords: 3d printing, health access, cataract, retina, smartphone, fundus telescope*

---

## I. PENDAHULUAN

Katarak merupakan penyebab utama kebutaan di Indonesia, dengan prevalensi sekitar 0,1% per tahun [1]. Pemeriksaan mata dan deteksi dini katarak sangat penting untuk mencegah komplikasi dan kebutaan [2]. Selain itu, pemeriksaan mata juga dapat mengidentifikasi masalah penglihatan lainnya seperti kelainan refraksi dan *pterygium* [3]. Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya kesehatan mata, termasuk penyuluhan kesehatan, pemeriksaan mata gratis, dan operasi katarak [3], [4]. Kegiatan-kegiatan ini telah menunjukkan hasil positif, dengan peningkatan pengetahuan masyarakat tentang kesehatan mata dan deteksi dini katarak. Upaya ini sejalan dengan program pemerintah untuk menurunkan angka kebutaan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Namun, masih ada beberapa masalah di daerah-daerah tertentu di Indonesia.

Keterbatasan akses pemeriksaan mata di daerah terpencil Indonesia merupakan bagian dari masalah yang lebih luas terkait fasilitas kesehatan di Daerah Terpencil, Tertinggal, Perbatasan dan Kepulauan (DTPK). Puskesmas di daerah ini menghadapi kendala seperti akses yang sulit, jam operasional terbatas, dan kurangnya tenaga medis [5]. Kondisi geografis seperti sungai, laut, gunung, dan hutan menjadi hambatan aksesibilitas [6]. Ketidakmerataan distribusi tenaga kesehatan, terutama dokter dan spesialis, juga menjadi masalah [7]. Puskesmas sangat bergantung pada dana publik untuk operasional dan gaji pekerja [8]. Ini mengakibatkan kekurangan tenaga medis dan memungkinkan berbagai tenaga kesehatan dapat merangkap berbagai tugas [5].

Fotografi *fundus* telah menjadi alat penting dalam oftalmologi untuk pencitraan dan skrining retina [9]. Sejak diperkenalkan, teknologi ini telah berkembang secara signifikan, dengan kemajuan terkini yang berfokus pada sistem portabel dan berbasis telepon pintar untuk meningkatkan aksesibilitas, khususnya di negara-negara berkembang [10]. Fotografi *fundus smartphone*, berdasarkan prinsip oftalmoskopi tidak langsung, menawarkan metode yang hemat biaya dan nyaman untuk pencitraan retina, meskipun pemula mungkin menghadapi tantangan dalam menguasai teknik ini. Penggunaan fotografi *fundus* telah meluas melampaui lingkungan klinis hingga pendidikan kedokteran, di mana ia berfungsi sebagai alternatif oftalmoskopi langsung untuk mengajarkan

keterampilan funduskopi kepada mahasiswa kedokteran dan non-dokter mata [11]. Seiring kemajuan teknologi, fotografi *fundus* diharapkan memainkan peran yang semakin penting dalam perawatan pasien, telemedis, dan aplikasi kecerdasan buatan dalam oftalmologi [9], [10].

Kemajuan terkini dalam fotografi *fundus* berbasis telepon pintar dan kecerdasan buatan telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan deteksi dini dan penyaringan penyakit mata, khususnya di area yang kekurangan perawatan spesialis. Studi telah menunjukkan sensitivitas dan spesifisitas tinggi pencitraan *fundus* berbasis kecerdasan buatan untuk mendeteksi retinopati diabetik dan kondisi yang mengancam penglihatan [12]–[14]. Teknologi ini menawarkan metode pemeriksaan mata yang hemat biaya, portabel, dan dapat direproduksi, yang berpotensi menyederhanakan alur kerja medis dan meningkatkan kebijakan kesehatan masyarakat [15]. Funduskopi telepon pintar sangat bermanfaat untuk daerah terpencil dan pedesaan, memungkinkan teleoftalmologi dan mengurangi beban pada dokter spesialis mata [16]. Selain itu, teknik pembelajaran mesin seperti dengan berbagai *Neural Network* telah menunjukkan akurasi tinggi dalam deteksi dini katarak, dengan potensi integrasi ke dalam aplikasi *smartphone* untuk akses yang lebih mudah [17]. Inovasi ini dapat secara signifikan meningkatkan penyaringan dan diagnosis penyakit mata di lingkungan dengan sumber daya terbatas.

Meskipun kamera *fundus* biasanya digunakan untuk memeriksa retina dan segmen posterior mata, benda ini tetap dapat digunakan untuk mendiagnosis katarak dengan memfokuskan pada lensa mata, yang terletak di segmen anterior. Teknik ini memerlukan mengambil gambar retina, saraf optik, dan pembuluh retina yang jelas [18]. Studi terkini telah menyoroti potensi aplikasi berbasis *smartphone* untuk mendeteksi katarak, yang menawarkan solusi yang menjanjikan untuk skrining jarak jauh dan telemedis. Aplikasi ini menggunakan berbagai teknik, termasuk fitur luminansi [19], kecerdasan buatan [20], [21], dan algoritma pembelajaran mendalam [22]. Keakuratan metode ini berkisar antara 88% hingga 96,6%, dengan sensitivitas antara 90,38% dan 96% [19]–[21]. Sementara beberapa aplikasi menunjukkan sensitivitas tinggi dalam mendeteksi katarak, aplikasi tersebut mungkin memiliki spesifisitas atau akurasi yang lebih rendah dalam menilai tingkat keparahan (*grade*) katarak. Contoh penggunaan jaringan saraf untuk deteksi dan

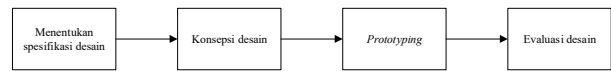
klasifikasi katarak dapat menggunakan *Backpropagation Neural Networks* (BPNN) dan *Radial Basis Function Neural Networks* (RBFNN). Metode tersebut telah menunjukkan hasil yang menjanjikan. Pendekatan berbasis BPNN telah mencapai akurasi berkisar antara 82,14% hingga 92,5% dalam mengklasifikasikan berbagai tahap katarak [23]–[25]

Untuk mendapatkan gambar retina, saraf optik, dan pembuluh darah yang jelas menggunakan kamera *fundus* berbasis *smartphone*, terdapat beberapa faktor penting yang perlu diperhatikan. Biasanya, teknik ini dapat menggunakan lensa asferis 20D yang dipasang pada kamera *smartphone*, dengan tambahan lensa Koeppel opsional untuk meningkatkan kualitas gambar. Penjajaran yang tepat antara kamera *smartphone*, lensa genggam, dan pupil pasien merupakan hal krusial dalam menghasilkan gambar yang tajam [18]. Selain itu, pencahayaan yang cukup serta stabilisasi yang baik diperlukan untuk mengurangi pantulan cahaya dan menghindari gambar yang kabur akibat gerakan. Pengaturan fokus kamera juga harus dilakukan secara hati-hati agar dapat menangkap detail halus dari retina, saraf optik, dan pembuluh darah. Desain lensa perlu menyediakan bidang pandang dan tingkat pembesaran yang sesuai, sehingga memungkinkan visualisasi yang komprehensif terhadap struktur penting tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah melaksanakan pengembangan desain perangkat keras alat pemeriksa mata *fundus* berbasis *smartphone* yang mudah digunakan dan terjangkau, guna meningkatkan akses pemeriksaan mata di daerah terpencil di Indonesia. Kualitas gambar retina perlu memenuhi standar pendeteksian untuk dapat diolah dalam dengan metode kecerdasan buatan sehingga membantu mendeteksi katarak, dan kelainan refraksi. Penggunaannya dalam konteks layanan kesehatan di Daerah Terpencil, Tertinggal, Perbatasan, dan Kepulauan (DTPK).

## II. METODE PENELITIAN

Untuk memastikan desain *smartphone fundus* camera sesuai kebutuhan dokter spesialis mata, perancangan dilakukan secara terstruktur melalui beberapa tahap, meliputi analisis kebutuhan, pengumpulan data, validasi kebutuhan, serta pembuatan dan pengujian prototipe, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan desain dan pengujian

Setiap tahapan pengembangan dirancang untuk memastikan bahwa desain kamera *fundus smartphone* tidak hanya memenuhi kebutuhan fungsional, tetapi juga mudah digunakan oleh tenaga medis serta menghasilkan gambar berkualitas tinggi. Proses pengembangan dimulai dengan menentukan spesifikasi desain melalui analisis kebutuhan, yang bertujuan menghasilkan gambar berkualitas untuk sistem deteksi berbasis kecerdasan buatan. Spesifikasi ini mencakup kualitas gambar yang dapat menangkap detail halus dari retina, *optic disc*, dan pembuluh darah, yang sangat penting dalam pemeriksaan oftalmologi.

Tahap konsepsi desain melibatkan brainstorming dan pembuatan sketsa awal, dengan struktur teropong yang menggunakan lensa 20D untuk memberikan fleksibilitas pengambilan gambar. Pada tahap *prototyping*, dilakukan pembuatan sketsa kasar (*quick design*) dan pengembangan model digital menggunakan Autodesk Inventor. Prototipe fisik dicetak menggunakan 3D *printer* Creality Ender 3 Pro dengan filamen PLA, menggunakan parameter suhu nozzle 210°C, suhu bed 60°C, kecepatan cetak 50 mm/s, dan infill density 80%, yang kemudian diuji untuk menilai akurasi desain.

Tahap *deployment* mencakup uji coba oleh pengguna akhir, termasuk dokter spesialis mata dan perawat di RS Islam Sultan Ageng Semarang, guna memastikan kesesuaian perangkat dengan kebutuhan klinis. Pada tahap evaluasi, dilakukan pengujian citra untuk memverifikasi kejelasan gambar retina, *optic disc*, dan pembuluh darah, menggunakan metode seperti *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), *Mean Squared Error* (MSE), *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dan histogram.

Pengolahan data menggunakan CLAHE diterapkan untuk meningkatkan kontras gambar secara adaptif, dengan membagi gambar *fundus* menjadi area kecil untuk pengolahan kontras lokal, serta mengatur batas kontras (*clip limit*) guna mencegah derau. Hasil CLAHE menghasilkan gambar dengan kontras optimal dan detail yang lebih jelas, terutama pada area halus seperti pembuluh darah retina, yang penting dalam analisis medis [26].

### A. Mean Squared Error (MSE)

*Mean Squared Error* (MSE) merupakan metode evaluasi yang digunakan untuk mengukur rata-rata kuadrat dari selisih antara intensitas piksel pada citra hasil tangkapan dengan citra referensi yang dianggap ideal. Pengujian MSE dilakukan dengan

membandingkan kedua citra tersebut, di mana perbedaan intensitas piksel dihitung di setiap titik, kemudian dikuadratkan dan dihitung nilai rerata untuk seluruh piksel pada citra. Nilai MSE yang lebih rendah menunjukkan kualitas citra yang lebih baik, karena perbedaan antara citra hasil tangkapan dan citra referensi menjadi semakin kecil. Persamaan MSE yang digunakan dinyatakan dalam bentuk Persamaan (1).

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I(i,j) - K(i,j)]^2 \quad (1)$$

Dengan  $I(i,j)$  sebagai piksel pada citra hasil tangkapan di posisi  $(i,j)$ ,  $K(i,j)$  sebagai piksel pada citra referensi, serta  $M$  dan  $N$  sebagai dimensi citra, nilai MSE yang lebih rendah menunjukkan kualitas citra yang lebih baik [27].

### B. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

*Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) adalah metode yang digunakan untuk mengukur kualitas citra dengan membandingkan tingkat sinyal terhadap derau. PSNR dihitung berdasarkan nilai MSE yang telah diperoleh sebelumnya, dengan nilai PSNR yang lebih tinggi menunjukkan kualitas citra yang lebih jelas dan derau yang lebih rendah. Persamaan PSNR (2) yang digunakan dinyatakan sebagai berikut:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (2)$$

di mana  $MAX$  adalah nilai maksimum piksel. PSNR memberikan penilaian kualitas citra dalam skala desibel (dB), di mana nilai PSNR yang lebih tinggi mengindikasikan kualitas gambar yang lebih baik [28], [29].

### C. Analisis Histogram

Histogram merupakan representasi distribusi intensitas atau tingkat kecerahan citra yang memberikan informasi mengenai kontras dan kualitas detailnya. Dalam metode ini, histogram digunakan untuk mengevaluasi distribusi intensitas pada citra hasil tangkapan, guna menentukan apakah rentang warna dan distribusi kecerahan sudah optimal [30]. Citra dengan histogram yang merata di seluruh rentang intensitas biasanya memiliki kontras yang baik, sementara histogram yang terkonsentrasi di area tertentu menunjukkan kekurangan detail di area gelap atau terang.

Analisis histogram dilakukan dengan memvisualisasikan distribusi intensitas dan memeriksa penyebarannya. Histogram yang merata menandakan kontras yang baik, sementara histogram

yang terkonsentrasi pada nilai tertentu menunjukkan kualitas gambar yang rendah dan kurangnya detail.

Selain evaluasi kuantitatif, wawancara mendalam dengan spesialis mata dilakukan untuk memperoleh umpan balik mengenai kualitas gambar dan aspek ergonomis perangkat. Wawancara dilakukan secara tatap muka agar perspektif profesional mengenai efektivitas perangkat dalam diagnosis dapat dieksplorasi secara mendalam. Selain itu, angket disebarakan kepada lima pengguna lain, termasuk perawat dan dokter umum, untuk memperoleh data mengenai kemudahan penggunaan, kenyamanan, dan tingkat kepercayaan terhadap kualitas citra yang dihasilkan.

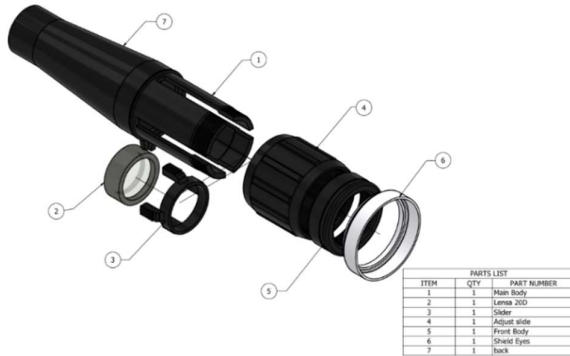
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memiliki keunikan dan perbedaan signifikan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, khususnya dari segi metode dan pendekatan yang digunakan. Prototipe *fundus* 3D berbasis *smartphone* dengan lensa 20D yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk mengintegrasikan desain ergonomis dengan kemampuan penyesuaian fokus secara presisi, sehingga mampu menghasilkan citra berkualitas tinggi. Evaluasi perangkat dilakukan secara menyeluruh, mencakup analisis kuantitatif menggunakan parameter seperti *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), *Mean Squared Error* (MSE), dan analisis histogram, serta analisis kualitatif melalui umpan balik dari dokter spesialis mata. Penelitian ini juga difokuskan untuk meningkatkan akses layanan kesehatan mata di daerah terpencil dengan menyediakan solusi portabel yang hemat biaya, menjadikannya inovasi yang praktis dan relevan dalam konteks oftalmologi.

Bagian ini menguraikan hasil penelitian dan pembahasan temuan terkait pengembangan dan evaluasi prototipe teropong *fundus* 3D berbasis *smartphone* dengan lensa 20D. Prototipe ini dirancang untuk mendukung deteksi katarak di wilayah dengan keterbatasan akses layanan kesehatan. Evaluasi dilakukan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu kualitas citra, kemudahan penggunaan, dan efektivitas klinis. Hasil pengujian meliputi analisis kuantitatif terhadap kualitas citra yang dihasilkan serta wawancara mendalam dengan dokter spesialis mata untuk mengevaluasi aspek teknis dan ergonomis. Temuan ini memberikan wawasan tentang kekuatan dan kelemahan prototipe, serta kontribusi potensialnya dalam meningkatkan akses pemeriksaan mata di wilayah terpencil.

### A. Desain Alat

Dimensi prototipe teropong *fundus* dirancang berdasarkan kebutuhan spesifik pengguna, mempertimbangkan jarak kamera ke lensa, jarak lensa ke mata, kemampuan penyesuaian, portabilitas, dan ergonomi. Jarak kamera ke lensa dapat disesuaikan antara 170 hingga 230 mm, dengan jarak optimal sebesar 180 mm, sesuai literatur yang merekomendasikan jarak mata ke lensa sekitar 50 mm [31], [32]. Desain dilengkapi ulir untuk dudukan tripod guna memudahkan penempatan. Gambar desain teropong disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain *exploded view* komponen *smartphone fundus* kamera

Mekanisme gerak lensa yang digunakan dalam prototipe dilengkapi dengan ulir *pitch* 2 mm, yang memungkinkan lensa untuk bergerak maju mundur secara presisi. Mekanisme ini dirancang agar pengguna dapat menyesuaikan fokus dengan lebih mudah dan akurat, meningkatkan ketajaman gambar yang dihasilkan. Fleksibilitas dalam pengaturan fokus ini membantu dalam memastikan kualitas gambar *fundus* mata yang tinggi, yang akan membantu dalam proses diagnosis. Hasil *Prototyping* terdapat pada Gambar 3.

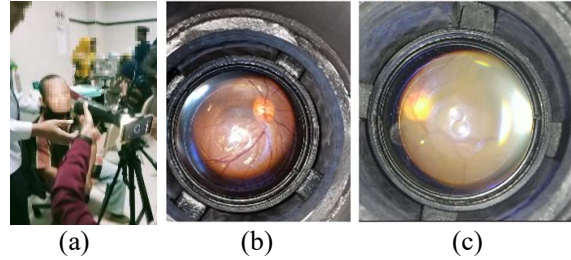


Gambar 3. Hasil *prototyping* desain dengan 3d printer

### B. Analisis Hasil Gambar

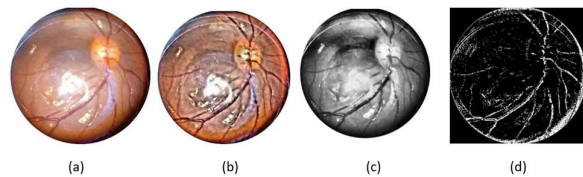
Kualitas gambar *fundus* retina yang dihasilkan oleh prototipe kamera *fundus* berbasis *smartphone* dianalisis untuk menilai kejelasan dan detail citra dengan bantuan perangkat lunak MATLAB.

Pengolahan citra dilakukan menggunakan beberapa teknik, termasuk *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), *Mean Squared Error* (MSE), *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), dan analisis histogram untuk mengevaluasi distribusi intensitas.



Gambar 4. Citra kamera *fundus smartphone* retina penderita katarak: (a) proses pengambilan citra retina, (b) retina normal, (c) retina katarak *mild*

Gambar 4 di atas menunjukkan hasil citra kamera *fundus* berbasis *smartphone* pada retina penderita katarak. Gambar (a) menunjukkan retina normal, sementara gambar (b) menunjukkan retina dengan katarak "*mild*", ditandai dengan penurunan kejelasan visual akibat opasitas lensa. Perbedaan ini mencerminkan pentingnya kualitas citra dalam deteksi dan diagnosis katarak. Dalam penelitian ini, lensa 20D berfungsi menghasilkan pembesaran yang memadai untuk mengamati detail *fundus*. Teknologi ini diharapkan meningkatkan kualitas pencitraan sehingga deteksi katarak dapat lebih akurat. Meskipun masih terdapat tantangan seperti stabilitas pencitraan dan optimalisasi cahaya, pendekatan berbasis *smartphone* ini menawarkan potensi skrining katarak yang portabel dan terjangkau, terutama di wilayah dengan keterbatasan alat diagnostik canggih.



Gambar 5. Gambar citra kamera *fundus smartphone* yang diolah dengan pengolahan citra: (a) citra asli, (b) CLAHE, (c) konversi citra keabuan, (d) *binary blood vessel*

Gambar 5 di atas menunjukkan tahapan pengolahan citra *fundus* retina yang diambil menggunakan kamera *smartphone* untuk menilai kualitas dan kejelasan gambar. Gambar (a) merupakan hasil foto asli, di mana detail retina seperti pembuluh darah dan cakram optik mulai terlihat namun dengan kontras terbatas. Gambar (b)

memperlihatkan peningkatan kontras untuk memperjelas struktur pembuluh darah. Selanjutnya, gambar (c) diubah menjadi mode keabuan untuk memfokuskan pada intensitas dan tekstur tanpa gangguan warna. Terakhir, gambar (d) menunjukkan hasil *edge detection* yang mempertegas batas pembuluh darah, memudahkan identifikasi detail yang penting bagi analisis medis. Tahapan ini membantu meningkatkan kualitas gambar sehingga detail retina agar lebih mudah dianalisis.

Tabel 1. Nilai hasil analisis kualitas gambar

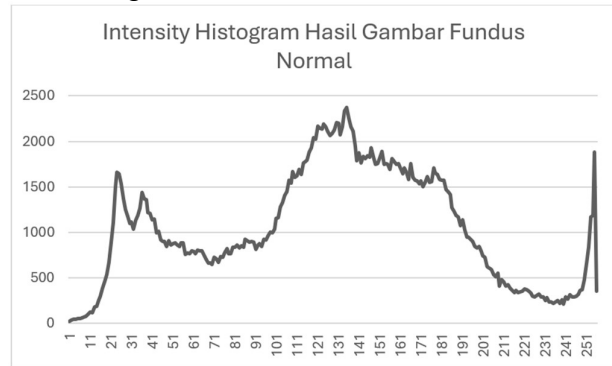
| Parameter           | Retina Normal | Retina Katarak (Mild) |
|---------------------|---------------|-----------------------|
| Ukuran Gambar Asli  | (2314, 2308)  | (2162, 2094)          |
| Ukuran Gambar Derau | (2314, 2308)  | (2162, 2094)          |
| MSE                 | 76.99         | 61.98                 |
| PSNR                | 29.27         | 30.21                 |

Berdasarkan analisis kualitas gambar pada Tabel 1, resolusi citra asli dan citra dengan derau untuk retina normal adalah 2314 x 2308 piksel, sedangkan untuk retina dengan katarak ringan (*mild*) sedikit lebih rendah, yaitu 2162 x 2094 piksel. Kualitas citra dinilai menggunakan dua parameter utama: *Mean Squared Error* (MSE) dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR).

Pada retina normal, nilai MSE tercatat sebesar 76,99, dengan PSNR sebesar 29,27 dB. Nilai MSE yang relatif tinggi ini menunjukkan adanya perbedaan intensitas yang signifikan antara citra asli dan citra dengan derau, sementara PSNR mendekati 30 dB menunjukkan kualitas citra yang masih memadai untuk evaluasi citra medis. Untuk retina dengan katarak ringan, nilai MSE lebih rendah, yaitu 61,98, dan PSNR meningkat menjadi 30,21 dB, yang menunjukkan kualitas citra yang lebih baik dibandingkan retina normal. Peningkatan nilai PSNR ini mengindikasikan kemampuan citra dalam mempertahankan detail visual meskipun terdapat gangguan katarak.

Hasil analisis ini mengindikasikan bahwa kondisi retina memengaruhi kualitas citra yang dihasilkan. Citra retina dengan katarak *mild* menunjukkan kualitas yang lebih baik, terlihat dari PSNR yang lebih tinggi dan MSE yang lebih rendah. Intensitas pencahayaan yang tidak merata, sebagaimana dikemukakan oleh Fouad dan Mustafa, dapat menyebabkan peningkatan nilai MSE akibat perbedaan intensitas antar piksel, yang pada gilirannya mengaburkan detail citra [33], [34]. Meskipun nilai MSE dapat cukup tinggi, PSNR yang berada dalam kisaran yang dapat diterima masih dapat mempertahankan kualitas visual yang memadai untuk tujuan diagnostik, sebagaimana diuraikan oleh Ghr r  dan Senapati [35], [36].

Histogram pada Gambar 6 mendukung evaluasi kontras dan kualitas citra untuk retina normal dan katarak ringan.



(a)



(b)

Gambar 6. Histogram hasil gambar desain fundus smartphone pada mata (a) normal, (b) katarak mild

Histogram pada Gambar 5 menggambarkan distribusi intensitas piksel pada gambar fundus retina, di mana sumbu horizontal menunjukkan level intensitas (0 hingga 255), dan sumbu vertikal menunjukkan frekuensi piksel untuk setiap level intensitas.

Berdasarkan histogram, terlihat bahwa intensitas piksel pada gambar fundus normal tidak merata, dengan puncak yang tinggi pada beberapa area intensitas tertentu. Distribusi ini mencerminkan adanya intensitas pencahayaan yang terpusat pada area tertentu, yang mungkin mengakibatkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan gambar retina yang lebih seragam pencahayaannya. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, iluminasi yang tidak seragam dapat memengaruhi kualitas gambar, namun pada kasus ini, nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) tetap berada dalam standar yang dapat diterima untuk penginderaan medis.

Standar deviasi yang cukup besar (58.144) dan (55.667) menunjukkan variasi intensitas yang signifikan di seluruh gambar, yang berarti ada perbedaan kontras antara area terang dan gelap dalam citra fundus. Meskipun variasi ini dapat menyebabkan peningkatan nilai MSE, histogram ini tetap memberikan informasi detail yang

menunjukkan bahawa alat cukup jelas pada area yang relevan untuk analisis medis, seperti pembuluh darah dan cakram optik pada retina.

### **C. Analisis Kualitatif**

Penelitian ini melibatkan dua dokter spesialis mata berpengalaman dengan masa praktik masing-masing 14 dan 20 tahun. Kedua responden secara rutin melakukan pemeriksaan katarak menggunakan slit-lamp dan kamera *fundus* sebagai alat utama dalam diagnosis. Berdasarkan hasil kuesioner, prototipe *fundus* kamera berbasis *smartphone* mendapatkan tanggapan positif terutama pada aspek desain visual dan ergonomi. Responden menilai bahwa perangkat memiliki desain yang nyaman dan portabel dengan ukuran dan bentuk yang sesuai untuk kebutuhan klinis. Salah satu responden bahkan menyebutkan bahwa perangkat ini “sangat ergonomis dan mudah digunakan di klinik.” Namun, terdapat saran untuk meningkatkan kekokohan perangkat agar lebih tahan lama dalam penggunaan intensif.

Kualitas citra yang dihasilkan oleh prototipe ini dinilai "baik" untuk sebagian besar kondisi, namun terdapat kendala pada kasus tertentu, seperti katarak hiper matur, di mana citra *fundus* menjadi kurang jelas. Salah satu responden mencatat bahwa “citra masih blur untuk kasus katarak hiper matur, sehingga *fundus* tidak terlihat jelas.” Hal ini menunjukkan perlunya perbaikan pada sistem pencahayaan dan resolusi kamera. Selain itu, responden menyatakan bahwa perangkat telah memenuhi kebutuhan klinis, terutama dalam membantu mendeteksi suspek katarak berdasarkan warna lensa.

Berdasarkan sisi kemudahan penggunaan, kedua responden sepakat bahwa perangkat ini mudah dioperasikan dan dapat meningkatkan efisiensi pemeriksaan katarak di klinik. Salah satu responden menggambarkan perangkat ini sebagai “simpler dan mudah digunakan.” Selain itu, prototipe dinilai akurat dalam membantu klasifikasi tingkat keparahan katarak (*normal, mild, medium, severe*). Responden juga menyoroti potensi besar perangkat ini untuk diadopsi secara luas di praktik klinis, terutama dengan pengembangan fitur tambahan seperti analisis otomatis dan integrasi aplikasi pendukung.

Meskipun demikian, terdapat beberapa area perbaikan yang diidentifikasi dari masukan responden. Masalah utama yang perlu diatasi adalah kualitas citra yang kurang optimal dalam beberapa kasus spesifik, serta perlunya peningkatan kekokohan perangkat. Responden juga menyarankan pengembangan fitur tambahan seperti sistem pencahayaan yang lebih baik dan aplikasi pendukung untuk analisis citra retina. Selain itu, pelatihan pengguna yang lebih intensif dan panduan

yang lebih jelas juga diperlukan agar perangkat dapat digunakan secara optimal, baik oleh dokter maupun pasien.

Hasil kuesioner yang diberikan kepada pasien menunjukkan penerimaan yang baik terhadap prototipe ini. Sebagian besar pasien merasa nyaman dengan perangkat, puas terhadap manfaat yang diberikan, dan optimis terhadap penggunaannya. Namun, beberapa pasien mengaku mengalami kesulitan dalam memahami instruksi penggunaan perangkat dan meragukan keakuratan citra retina, terutama pada kasus dengan tingkat keparahan katarak yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan perlunya perbaikan pada kualitas gambar serta penyediaan panduan yang lebih mudah dipahami oleh pasien.

Secara keseluruhan, prototipe *fundus* kamera berbasis *smartphone* ini diterima dengan baik oleh responden dokter dan pasien. Perangkat dinilai memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemeriksaan katarak di klinik, meskipun terdapat beberapa kendala teknis yang perlu diperbaiki. Rekomendasi pengembangan mencakup perbaikan sistem pencahayaan, peningkatan resolusi gambar, penguatan material perangkat untuk memastikan kekokohan, serta pengembangan fitur tambahan seperti analisis otomatis dan integrasi aplikasi. Dengan penyempurnaan lebih lanjut, perangkat ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam deteksi katarak berbasis teknologi.

## **IV. KESIMPULAN**

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan prototipe teropong *fundus* 3D berbasis *smartphone* dengan lensa 20D untuk deteksi katarak di daerah terencil. Prototipe ini memenuhi kebutuhan teknis dan ergonomis dalam lingkungan oftalmologi, dengan desain lensa yang memungkinkan pengambilan gambar *fundus* berkualitas dan kemudahan penyesuaian fokus.

Pengujian kualitas gambar *fundus* menunjukkan hasil yang cukup baik, dengan nilai PSNR mendekati atau melebihi 30 dB, yang memenuhi standar penginderaan medis. Analisis histogram juga menunjukkan detail visual yang relevan untuk diagnosis. Prototipe ini dinilai memiliki potensi besar untuk diadopsi di klinik mata, terutama di daerah dengan akses terbatas ke alat diagnostik.

Prototipe ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan akses layanan kesehatan mata di daerah terencil, terutama dengan dukungan telemedis dan teknologi kecerdasan buatan. Namun, beberapa aspek masih perlu diperbaiki, seperti stabilitas pencitraan, optimalisasi pencahayaan, dan peningkatan kekokohan perangkat. Secara

keseluruhan, perangkat ini dapat meningkatkan akses pemeriksaan mata dan diagnosis dini di daerah terpencil. Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengatasi kelemahan yang ada dan mengoptimalkan kinerja perangkat agar dapat diadopsi lebih luas dalam praktik klinis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada KEMENRISTEKDIKTI yang sudah mendanai penelitian ini dalam program Penelitian Dosen Pemula (PDP).

## REFERENSI

- [1] T. Agus Haryono, S. Nassa Mokoginta, A. Indriawati, and H. Marsiati, "Operasi Katarak Kerjasama Yarsi Save Vision Lpm Universitas Yarsi Dengan Perdami Bekasi Dan Rumah Sakit Hermina Grand Wisata Bekasi," *Info Abdi Cendekia*, vol. 2, no. 2, 2019, doi: 10.33476/iac.v2i2.23.
- [2] R. Himayani, R. Z. Oktarlina, and ..., "Deteksi Dini 'White Pupil' di Masyarakat Daerah Natar Lampung Selatan," *JPM (Jurnal ...)*, 2020, doi: 10.23960/JPM.V5I1.2828.
- [3] A. Y. H. Husna, Itmam Milataka, "PENDIDIKAN DAN PEMERIKSAAAN KESEHATAN MATA DI CAR FREE DAY CILEMBANG KOTA TASIKMALAYA," vol. 11, no. 1, pp. 1–14, doi: 10.33024/JKPM.V3I1.2649.
- [4] L. Wati *et al.*, "Pencegahan Katarak dengan Penyuluhan Kesehatan dan Deteksi Dini Kejadian Katarak pada Nelayan Pesisir Daerah Kawal Pantai Bintang Kepulauan Riau," *J. Abdi Masy. Indones.*, vol. 3, no. 4, pp. 1117–1124, 2023, doi: 10.54082/jamsi.761.
- [5] P. Soewondo, M. Johar, R. Pujisubekti, Halimah, and D. O. Irawati, "Inspecting Primary Healthcare Centers in Remote Areas: Facilities, Activities, and Finances," *Indones. J. Heal. Adm.*, vol. 7, no. 1, pp. 89–98, 2019, doi: 10.20473/jaki.v7i1.2019.89-98.
- [6] A. Su'udi, R. H. Putranto, H. Harna, A. M. A. Irawan, and I. Fatmawati, "Analisis Kondisi Geografis dan Ketersediaan Peralatan di Puskesmas Terpencil/Sangat Terpencil di Indonesia," *Poltekita J. Ilmu Kesehat.*, vol. 16, no. 2, pp. 132–138, 2022, doi: 10.33860/jik.v16i2.1246.
- [7] S. Listya Dewi, "Kebijakan Untuk Daerah Dengan Jumlah Tenaga Kesehatan Rendah," *J. Kebijak. Kesehat. Indones.*, vol. 02, no. 01, pp. 1–2, 2013, doi: 10.22146/jkki.v2i1.3221.
- [8] S. Wahyuni and L. Ferial, "Pemeriksaan Puskesmas di Daerah Terpencil terhadap Fasilitas Kesehatan," *J. Baja Heal. Sci.*, vol. 3, no. 01, pp. 91–108, 2023, doi: 10.47080/joubahs.v3i01.2487.
- [9] N. Panwar *et al.*, "Fundus photography in the 21st century -a review of recent technological advances and their implications for worldwide healthcare," *Telemed. e-Health*, vol. 22, no. 3, pp. 198–208, 2016, doi: 10.1089/tmj.2015.0068.
- [10] U. Iqbal, "Smartphone fundus photography: a narrative review," *Int. J. Retin. Vitreol.*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s40942-021-00313-9.
- [11] D. D. Mackay and P. S. Garza, "Ocular Fundus Photography as an Educational Tool," *Semin. Neurol.*, vol. 35, no. 5, pp. 496–505, 2015, doi: 10.1055/s-0035-1563572.
- [12] D. Milea *et al.*, "Artificial Intelligence to Detect Papilledema from Ocular Fundus Photographs," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 18, pp. 1687–1695, 2020, doi: 10.1056/nejmoa1917130.
- [13] R. Indraswari, W. Herulambang, and R. Rokhana, "Deteksi Penyakit Mata Pada Citra Fundus Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN)," *Techno.Com*, vol. 21, no. 2, pp. 378–389, 2022, doi: 10.33633/tc.v21i2.6162.
- [14] W. Setiawan, "Perbandingan Arsitektur Convolutional Neural Network Untuk Klasifikasi Fundus," *J. Simantec*, vol. 7, no. 2, pp. 48–53, 2020, doi: 10.21107/simantec.v7i2.6551.
- [15] M. A. Pereira Vilela, A. Arrigo, M. B. Parodi, and C. da Silva Mengue, "Smartphone Eye Examination: Artificial Intelligence and Telemedicine," *Telemed. e-Health*, vol. 30, no. 2, pp. 341–353, 2024, doi: 10.1089/tmj.2023.0041.
- [16] N. Vaughan, "Review of smartphone funduscopy for diabetic retinopathy screening," *Surv. Ophthalmol.*, vol. 69, no. 2, pp. 279–286, 2024, doi: 10.1016/j.survophthal.2023.10.006.
- [17] F. Ramadhani, A. Satria, and S. Salamah, "Implementasi Algoritma Convolutional Neural Network dalam Mengidentifikasi Dini Penyakit pada Mata Katarak," *sudo J. Tek. Inform.*, vol. 2, no. 4, pp. 167–175, 2023, doi: 10.56211/sudo.v2i4.408.
- [18] H. Nazari Khanamiri, A. Nakatsuka, and J. El-Annan, "Smartphone Fundus Photography," *J. Vis. Exp.*, no. 125, 2017, doi: 10.3791/55958.
- [19] B. Askarian, P. Ho, and J. W. Chong, "Detecting Cataract Using Smartphones," *IEEE J. Transl. Eng. Heal. Med.*, vol. 9, 2021, doi: 10.1109/JTEHM.2021.3074597.
- [20] M. A. V. M. *et al.*, "Clinical validation of artificial intelligence-based cataract screening solution with smartphone images (Logy AI cataract screening module)," *Int. J. Adv. Med.*, vol. 11, no. 2, pp. 71–77, 2024, doi: 10.18203/2349-3933.ijam20240007.
- [21] C. S. Vasana *et al.*, "Accuracy of an artificial intelligence-based mobile application for detecting cataracts: Results from a field study," *Indian J. Ophthalmol.*, vol. 71, no. 8, pp. 2984–2989, 2023, doi: 10.4103/IJO.IJO\_3372\_22.
- [22] S. Hu *et al.*, "Unified diagnosis framework for automated nuclear cataract grading based on smartphone slit-lamp images," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 174169–174178, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025346.
- [23] W. S. Simamora, R. S. Lubis, and E. M. Zamzami, "A Classification: Using Back Propagation Neural Network Algorithm to Identify Cataract Disease," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1566, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1566/1/012037.
- [24] R. Munarto, M. A. S. Yudono, and E. Permata,



- “Automatic Cataract Classification System Using Neural Network Algorithm Backpropagation,” *Proceeding - 2020 2nd Int. Conf. Ind. Electr. Electron. ICIEE 2020*, pp. 101–106, 2020, doi: 10.1109/ICIEE49813.2020.9277441.
- [25] T. S. Mulati and F. Utaminingrum, “Hidden Neuron Analysis for Detection Cataract Disease Based on Gray Level Co-occurrence Matrix and Back Propagation Neural Network,” *8th Int. Conf. ICT Smart Soc. Digit. Twin Smart Soc. ICISS 2021 - Proceeding*, 2021, doi: 10.1109/ICISS53185.2021.9533263.
- [26] Erwin, R. Zulfahmi, D. S. Noviyanti, G. R. Utami, A. N. Harison, and P. S. Agung, “Improved Image Quality Retinal Fundus with Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization and Filter Variation,” *Proc. - 1st Int. Conf. Informatics, Multimedia, Cyber Inf. Syst. ICIMCIS 2019*, pp. 49–54, 2019, doi: 10.1109/ICIMCIS48181.2019.8985198.
- [27] R. Mehra, “Estimation of the Image Quality under Different Distortions,” *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, 2016, doi: 10.18535/ijecs/v5i7.20.
- [28] H. Sajati, “Analisis Kualitas Perbaikan Citra Menggunakan Metode Median Filter Dengan Penyeleksian Nilai Pixel,” *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2018, doi: 10.28989/angkasa.v10i1.223.
- [29] Sonawane Shruti and A.M. Deshpande, “Image Quality Assessment Techniques: An Overview,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 2013–2017, 2014, [Online]. Available: [www.ijert.org](http://www.ijert.org)
- [30] S. Kumar, S. Choudhary, R. Gupta, and B. Kumar, “Performance Evaluation of Joint Filtering and Histogram Equalization Techniques for Retinal Fundus Image Enhancement,” *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Sect. Int. Conf. Electr. Electron. Comput. Eng. UPCON 2018*, 2018, doi: 10.1109/UPCON.2018.8597050.
- [31] H. A. Stein, R. M. Stein, and M. I. Freeman, *The Ophthalmic Assistant*. 2006. doi: 10.1016/B978-0-323-03330-5.X5001-X.
- [32] VOLK OPTICS, “The Finest Ophthalmic Imaging catalog,” *Optics, Volk Aspheric*, 2019.
- [33] M. M. Fouad, R. M. Dansereau, and A. D. Whitehead, “Image registration under illumination variations using region-based confidence weighted M-estimators,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 21, no. 3, pp. 1046–1060, 2012, doi: 10.1109/TIP.2011.2167344.
- [34] W. A. Mustafa, H. Yazid, and S. Bin Yaacob, “A review: Comparison between different type of filtering methods on the contrast variation retinal images,” *Proc. - 4th IEEE Int. Conf. Control Syst. Comput. Eng. ICCSCE 2014*, pp. 542–546, 2014, doi: 10.1109/ICCSCE.2014.7072777.
- [35] S. E. Ghrare, M. A. M. Ali, M. Ismail, and K. Jumari, “Diagnostic quality of compressed medical images: Objective and subjective evaluation,” *Proc. - 2nd Asia Int. Conf. Model. Simulation, AMS 2008*, pp. 923–927, 2008, doi: 10.1109/AMS.2008.10.
- [36] R. K. Senapati, R. Badri, A. Kota, N. Merugu, and S. Sadhul, “Compression and Denoising of Medical Images Using Autoencoders,” *Proc. - 2022 Int. Conf. Recent Trends Microelectron. Autom. Comput. Commun. Syst. ICMACC 2022*, pp. 466–470, 2022, doi: 10.1109/ICMACC54824.2022.10093634.

