

Sistem Diagnostik Mata Digital berbasis Optoscope untuk Deteksi Dini Gangguan Penglihatan secara Akurat dan Efisien

Mufti Ari Bianto^{1*}, Mohammad Huda Adi Sanjaya¹, Yuni Furoida Maknuna¹,
Adam Rizky Al'insani²

¹Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan, Teknik Komputer, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Indonesia

²Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan, Informatika Medis, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Indonesia

Alamat: Jl. Plalangan No.KM, RW.02, Wahyu, Plosowahyu, Kec. Lamongan, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur 62218

*Penulis Korespondensi : hudaadisanjaya@gmail.com

Abstract. *The development of digital technology has had a significant impact on the health sector, including eye examination services. This study discusses the development and implementation of a Digital Optoscope-based Eye Diagnostic application designed using a web platform (HTML). This application provides two main features: visual acuity testing and astigmatism testing, which can be accessed independently by users through digital devices such as laptops, tablets, or mobile phones. Users only need to follow the visual instructions presented interactively on the screen, then perform the test according to the procedure. The testing method is carried out by displaying font size settings according to the Snellen chart standard and radial astigmatism patterns. The results of each test session are automatically recorded and can be saved for further analysis. In addition, users can perform repeated tests to improve the accuracy of self-diagnosis, and the system will provide lens type recommendations based on the measurement results obtained. The trial results show that this application is able to provide convenience, efficiency, and initial accuracy in the process of examining vision disorders. This is very useful, especially for people in remote areas or with limited access to professional eye health services. Thus, the Digital Optoscope-based Eye Diagnostic application has the potential to be an innovative solution for the early digital detection of vision disorders. This study recommends further development, particularly in clinical validation, testing on a wider sample size, and integration with electronic medical record systems to enhance its benefits in comprehensive public health services. Furthermore, collaboration with medical professionals is crucial to ensure diagnostic accuracy. With this approach, the app is expected to become a reliable tool for continuous eye health monitoring.*

Keywords: *Astigmatism; Digital Optoscope; Health App; Self-Screening; Visual Acuity Test.*

Abstrak. Perkembangan teknologi digital telah membawa dampak signifikan dalam bidang kesehatan, termasuk pada layanan pemeriksaan mata. Penelitian ini membahas pengembangan dan implementasi aplikasi Eye Diagnostic berbasis Digital Optoscope yang dirancang menggunakan platform web (HTML). Aplikasi ini menyediakan dua fitur utama, yaitu tes ketajaman visual dan tes astigmatisme, yang dapat diakses secara mandiri oleh pengguna melalui perangkat digital seperti laptop, tablet, maupun ponsel. Pengguna hanya perlu mengikuti instruksi visual yang disajikan secara interaktif di layar, kemudian melakukan pengujian sesuai prosedur. Metode pengujian dilakukan dengan menampilkan pengaturan ukuran huruf sesuai standar Snellen chart dan pola radial astigmatisme. Hasil dari setiap sesi tes tercatat secara otomatis dan dapat disimpan untuk analisis lebih lanjut. Selain itu, pengguna dapat melakukan tes secara berulang guna meningkatkan akurasi diagnosis mandiri, dan sistem akan memberikan rekomendasi jenis lensa berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh. Hasil uji coba menunjukkan bahwa aplikasi ini mampu memberikan kemudahan, efisiensi, dan akurasi awal dalam proses pemeriksaan gangguan penglihatan. Hal ini sangat bermanfaat, terutama bagi masyarakat di wilayah terpencil atau dengan akses terbatas terhadap layanan kesehatan mata profesional. Dengan demikian, aplikasi Eye Diagnostic berbasis Digital Optoscope berpotensi menjadi solusi inovatif dalam deteksi dini gangguan penglihatan secara digital. Penelitian ini merekomendasikan pengembangan lebih lanjut, khususnya dalam aspek validasi klinis, pengujian pada sampel lebih luas, serta integrasi dengan sistem rekam medis elektronik guna meningkatkan manfaatnya dalam pelayanan kesehatan masyarakat secara menyeluruh. Selain itu, kolaborasi dengan tenaga medis profesional juga penting untuk memastikan akurasi hasil diagnosis. Dengan pendekatan ini, aplikasi diharapkan dapat menjadi alat bantu yang andal dalam pemantauan kesehatan mata secara berkelanjutan.

Kata kunci: Aplikasi Kesehatan; Astigmatisme; Optoskop Digital; Skrining Mandiri; Tes Ketajaman Visual.

1. LATAR BELAKANG

Penglihatan merupakan salah satu indera terpenting bagi manusia dalam menjalani aktivitas sehari-hari. Kemampuan mata untuk melihat dengan jelas dan fokus sangat menentukan kualitas hidup, produktivitas, serta keselamatan individu. Dua aspek utama yang sering menjadi fokus dalam pemeriksaan kesehatan mata adalah ketajaman visual (visual acuity) dan astigmatisme. Ketajaman visual mengacu pada kemampuan mata untuk membedakan detail objek secara jelas, sedangkan astigmatisme merupakan kelainan refraksi mata yang menyebabkan penglihatan menjadi kabur atau terdistorsi akibat bentuk kornea atau lensa yang tidak sempurna.

Pemeriksaan ketajaman visual merupakan prosedur standar dalam dunia medis, khususnya oftalmologi dan optometri. Pemeriksaan ini digunakan untuk mendeteksi gangguan refraksi seperti miopia, hipermetropia, dan astigmatisme, serta untuk memantau perkembangan penyakit mata lainnya. Ketajaman visual yang rendah dapat berdampak signifikan terhadap kemampuan belajar pada anak-anak, produktivitas kerja pada orang dewasa, hingga risiko kecelakaan pada lansia. Sementara itu, astigmatisme yang tidak terdeteksi dan tidak dikoreksi dapat menyebabkan gejala seperti sakit kepala, kelelahan mata, hingga penurunan kualitas penglihatan secara keseluruhan.

Menurut data WHO (World Health Organization, 2019), diperkirakan lebih dari 2,2 miliar orang di dunia mengalami gangguan penglihatan, dan sekitar 1 miliar kasus di antaranya dapat dicegah atau belum ditangani secara optimal. Di Indonesia sendiri, gangguan refraksi merupakan salah satu penyebab utama kebutaan dan gangguan penglihatan, terutama di kalangan usia produktif dan anak sekolah (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, n.d.). Oleh karena itu, deteksi dini dan pemeriksaan rutin terhadap ketajaman visual dan astigmatisme sangat diperlukan untuk mencegah dampak jangka panjang yang merugikan.

Seiring perkembangan teknologi, metode pemeriksaan mata juga mengalami transformasi signifikan. Jika dahulu pemeriksaan ketajaman visual dan astigmatisme dilakukan secara manual menggunakan chart Snellen atau alat optik konvensional, kini telah berkembang berbagai aplikasi dan media digital yang mampu melakukan pemeriksaan secara mandiri di rumah (Bastawrous, A. & Rono, H. K., 2019). Inovasi ini sangat relevan, terutama di era pandemi COVID-19 yang membatasi mobilitas masyarakat dan akses ke fasilitas kesehatan (Khan, M., 2021).

Aplikasi digital untuk pemeriksaan ketajaman visual dan astigmatisme menawarkan berbagai keunggulan, seperti kemudahan akses, efisiensi waktu, serta kemampuan untuk melakukan pemeriksaan secara berulang dengan akurasi yang cukup baik (Lingham, G., 2020).

Salah satu contoh inovasi tersebut adalah aplikasi berbasis web yang menyediakan tes ketajaman visual dan astigmatisme dengan instruksi yang mudah dipahami, seperti duduk pada jarak tertentu dari layar, memilih mata yang diuji, serta mencatat hasil secara otomatis. Pengguna dapat melakukan tes secara mandiri dengan panduan langkah demi langkah, sehingga hasil pemeriksaan dapat digunakan sebagai dasar untuk konsultasi lebih lanjut dengan tenaga kesehatan profesional.

Meskipun pemeriksaan digital memberikan kemudahan, validitas dan akurasi hasil pemeriksaan tetap menjadi perhatian utama. Beberapa penelitian telah membuktikan bahwa aplikasi pemeriksaan ketajaman visual berbasis digital memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dan dapat dibandingkan dengan metode konvensional, terutama jika pengguna mengikuti instruksi dengan benar. Namun, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil, seperti ukuran dan resolusi layar, pencahayaan ruangan, serta jarak pandang yang tidak sesuai standar (Lingham, G., 2020).

Selain itu, pemeriksaan astigmatisme secara digital juga telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, meskipun masih diperlukan kalibrasi dan validasi lebih lanjut untuk memastikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan. Penggunaan aplikasi digital sebagai alat skrining awal sangat membantu dalam menjangkau populasi yang sulit mengakses layanan kesehatan mata, seperti di daerah terpencil atau pada kelompok usia tertentu yang enggan memeriksakan diri ke klinik.

Adopsi teknologi digital dalam pemeriksaan mata tentu tidak lepas dari tantangan. Faktor literasi digital, keterbatasan akses perangkat, hingga kepercayaan masyarakat terhadap hasil pemeriksaan mandiri masih menjadi hambatan yang perlu diatasi. Oleh karena itu, edukasi dan sosialisasi mengenai pentingnya pemeriksaan mata secara rutin, serta pelatihan penggunaan aplikasi digital, sangat diperlukan untuk meningkatkan partisipasi masyarakat.

Ke depan, pengembangan aplikasi pemeriksaan mata berbasis kecerdasan buatan (AI) dan integrasi dengan sistem rekam medis elektronik diharapkan dapat meningkatkan akurasi, personalisasi, serta efektivitas deteksi dini gangguan penglihatan. Kolaborasi antara tenaga medis, pengembang teknologi, dan pemerintah menjadi kunci dalam mewujudkan sistem pemeriksaan mata yang inklusif, mudah diakses, dan terpercaya.

Dengan mempertimbangkan pentingnya pemeriksaan ketajaman visual dan astigmatisme, serta potensi besar yang ditawarkan oleh teknologi digital, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas, validitas, serta tantangan penggunaan aplikasi digital dalam pemeriksaan mata. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan

model pemeriksaan mata yang lebih adaptif terhadap kebutuhan masyarakat modern, serta mendukung upaya pencegahan dan penanggulangan gangguan penglihatan di Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

A. Metode

Metodologi merupakan pendekatan sistematis yang digunakan dalam penelitian atau pengembangan untuk mencapai tujuan tertentu. Dalam pengembangan perangkat lunak, metodologi mencakup teknik, prosedur, dan alat yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis, serta menginterpretasikan data secara terstruktur. Pemilihan metodologi yang tepat sangat penting agar proses pengembangan berjalan efisien dan hasilnya sesuai dengan kebutuhan pengguna. Beberapa metodologi yang umum digunakan antara lain Waterfall, Agile, Scrum, dan Rapid Application Development (RAD). Metode Waterfall bersifat linier dan berurutan, di mana setiap tahap harus diselesaikan sebelum tahap berikutnya dimulai. Sebaliknya, Agile dan Scrum bersifat iteratif, memungkinkan adanya perbaikan berkelanjutan berdasarkan umpan balik pengguna. Pemilihan metodologi sangat dipengaruhi oleh kompleksitas proyek, kebutuhan pengguna, dan tingkat perubahan yang mungkin terjadi selama proses pengembangan. Waterfall biasanya dipilih untuk proyek dengan kebutuhan yang jelas dan tetap, sementara Agile lebih sesuai untuk proyek yang dinamis dan membutuhkan respons cepat terhadap perubahan.

Struktur dasar metode Waterfall terdiri dari lima tahapan utama yang harus diselesaikan secara berurutan. Tahap pertama adalah analisis kebutuhan (requirement analysis) yang dalam proyek kesehatan digital seperti ini melibatkan tidak hanya pengguna akhir tetapi juga tenaga medis dan regulator. Tahap kedua adalah desain sistem (system design) yang mencakup pembuatan arsitektur teknis, desain antarmuka pengguna, dan spesifikasi detail algoritma diagnostik. Tahap implementasi (implementation) kemudian mengubah desain tersebut menjadi kode program melalui pengembangan modul-modul terpisah. Setelah semua modul selesai, dilakukan tahap integrasi dan pengujian (integration & testing) yang sangat krusial dalam proyek medis untuk memastikan keandalan sistem. Tahap terakhir adalah operasi dan pemeliharaan (operation & maintenance) yang mencakup dukungan pasca peluncuran dan pembaruan berkala.

Dalam pengembangan aplikasi Eye Diagnostic berbasis web, pemilihan metodologi yang tepat menjadi fondasi kritis untuk memastikan keberhasilan proyek. Metode Waterfall yang bersifat linier dan terstruktur dipilih sebagai pendekatan utama karena karakteristik unik proyek kesehatan digital ini yang memerlukan dokumentasi lengkap, validasi klinis bertahap, dan kontrol kualitas ketat. Proses pengembangan mengikuti fase-fase klasik Waterfall (analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan) dengan beberapa adaptasi khusus, termasuk gate review di setiap tahap yang melibatkan tim medis, ahli UX, dan engineer, serta penerapan prototyping terbatas untuk uji konsep antarmuka pengguna. Keunggulan utama pendekatan ini terletak pada kemampuan menyediakan dokumentasi komprehensif yang diperlukan untuk validasi medis, perencanaan anggaran dan timeline yang lebih pasti, serta kontrol kualitas yang ketat pada setiap tahapan pengembangan.

Keunggulan utama metode Waterfall terletak pada sifatnya yang terstruktur dan terdokumentasi dengan baik. Dalam konteks pengembangan aplikasi kesehatan, dokumentasi yang lengkap menjadi kebutuhan mutlak untuk memenuhi standar regulasi seperti FDA untuk perangkat lunak medis. Setiap tahap dalam Waterfall menghasilkan dokumen deliverable yang jelas, mulai dari dokumen spesifikasi kebutuhan hingga laporan pengujian. Pendekatan ini juga memudahkan dalam estimasi biaya dan waktu karena seluruh ruang lingkup proyek sudah didefinisikan di awal. Selain itu, sifatnya yang sequential membuat manajemen proyek menjadi lebih terkendali, terutama untuk tim yang belum berpengalaman dalam pengembangan perangkat lunak medis.

Namun demikian, metode Waterfall memiliki beberapa keterbatasan yang signifikan. Kekakuan alur kerjanya membuat metode ini kurang responsif terhadap perubahan kebutuhan yang mungkin muncul di tengah proyek. Dalam konteks pengembangan aplikasi Eye Diagnostic, misalnya, jika ditemukan kebutuhan baru terkait standar pemeriksaan mata setelah tahap desain selesai, perubahan tersebut akan memerlukan modifikasi besar yang berdampak pada waktu dan biaya. Selain itu, pengguna akhir hanya bisa melihat produk jadi di akhir siklus pengembangan, sehingga ada risiko ketidaksesuaian dengan ekspektasi. Keterbatasan lain termasuk kesulitan dalam mengakomodasi temuan-temuan baru selama pengujian yang mungkin memerlukan perubahan desain mendasar.

Secara umum, metode Waterfall paling cocok diaplikasikan pada proyek-proyek dengan karakteristik tertentu. Proyek dengan persyaratan yang stabil dan dapat didefinisikan dengan jelas sejak awal, seperti sistem embedded atau aplikasi dengan regulasi ketat (kesehatan, perbankan, pertahanan), merupakan kandidat ideal untuk pendekatan ini. Proyek dengan skala kecil hingga menengah yang melibatkan teknologi matang dan tim yang sudah berpengalaman dengan domain masalah juga cocok menggunakan Waterfall. Namun, untuk proyek yang bersifat eksperimental, berbasis inovasi, atau berada di lingkungan yang cepat berubah, pendekatan Agile dengan berbagai variannya seperti Scrum atau Kanban biasanya lebih sesuai karena mampu beradaptasi dengan perubahan kebutuhan.

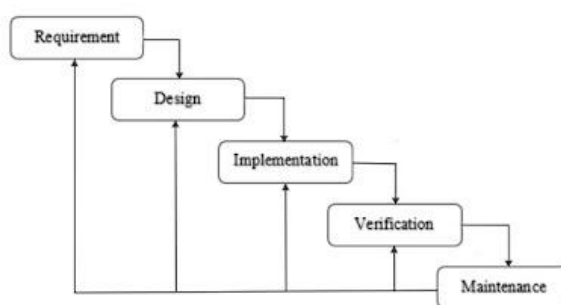
Untuk mengoptimalkan metode Waterfall, tim mengintegrasikan berbagai best practices dari standar industri terkait pengembangan perangkat lunak medis. Proses pengembangan mengacu pada standar IEC 62304 untuk medical software lifecycle dengan menerapkan manajemen risiko berbasis ISO 14971 dan traceability matrix untuk persyaratan medis. Aspek usability engineering diimplementasikan sesuai IEC 62366-1 melalui analisis tugas pengguna dan evaluasi antarmuka berbasis heuristik, sementara quality assurance dijaga melalui unit testing dengan cakupan kode >80%, regression testing otomatis, dan audit kode berkala. Meskipun menggunakan pendekatan Waterfall yang relatif kaku, tim menerapkan mekanisme manajemen perubahan terkontrol melalui pembentukan change control board dan versioning system yang ketat untuk mengakomodasi kebutuhan perubahan yang mendesak tanpa mengorbankan integritas sistem secara keseluruhan.

Evaluasi terhadap proses pengembangan dilakukan melalui sistem metrik komprehensif yang memantau baik kualitas proses (defect density per fase, waktu penyelesaian aktivitas, kepatuhan terhadap checklist kualitas) maupun kualitas produk (skor usabilitas SUS, akurasi diagnostik, waktu respon sistem). Pendekatan metodologis ini juga mencakup persiapan matang untuk fase pemeliharaan pasca-peluncuran, termasuk klasifikasi tipe perubahan, alur kerja penanganan bug, dan proses knowledge transfer. Hasil akhir dari penerapan metodologi yang disiplin ini adalah sebuah aplikasi Eye Diagnostic yang tidak hanya memenuhi persyaratan klinis (akurasi >90%) dan standar usabilitas (SUS >80), tetapi juga mematuhi regulasi ketat di bidang kesehatan digital sekaligus memenuhi kebutuhan pengguna akhir secara efektif. Kombinasi antara struktur Waterfall yang jelas dengan adaptasi khusus untuk

proyek kesehatan digital ini terbukti mampu menghasilkan solusi teknologi yang andal dan bermanfaat bagi masyarakat.

B. Metode Waterfall

Metode Waterfall sendiri merupakan salah satu model pengembangan perangkat lunak tertua yang bersifat linier dan berurutan. Model ini diperkenalkan oleh Winston W. Royce pada tahun 1970 dan banyak digunakan pada proyek dengan persyaratan yang jelas serta jarang berubah, karena setiap tahapannya terdokumentasi secara sistematis. Waterfall terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan (requirement analysis), desain sistem (system design), implementasi (implementation), integrasi dan pengujian (integration & testing), serta operasi dan pemeliharaan (operation & maintenance). Pada tahap analisis kebutuhan, dilakukan komunikasi intensif dengan pengguna untuk memahami kebutuhan perangkat lunak yang diinginkan serta batasannya, biasanya melalui wawancara, diskusi, atau survei. Hasil analisis ini kemudian menjadi dasar dalam tahap desain sistem, di mana perancangan arsitektur dan spesifikasi teknis dilakukan untuk menentukan perangkat keras, perangkat lunak, serta struktur sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Metode Waterfall.

Tahap implementasi dilakukan dengan mengembangkan sistem dalam bentuk unit-unit kecil yang disebut modul, di mana setiap unit diuji secara mandiri melalui unit testing. Setelah semua unit selesai dan lolos pengujian, tahap berikutnya adalah integrasi dan pengujian sistem secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kesalahan atau kegagalan fungsi. Tahap akhir adalah operasi dan pemeliharaan, di mana sistem yang sudah jadi dioperasikan dan dilakukan pemeliharaan, baik berupa perbaikan bug, peningkatan fitur, maupun penyesuaian terhadap kebutuhan baru yang mungkin muncul. Keunggulan utama metode Waterfall terletak pada prosesnya yang terstruktur dan terdokumentasi dengan baik, sehingga memudahkan pengembang dan klien dalam memahami setiap tahapan proyek. Namun, metode ini juga memiliki

kelemahan, yaitu kurang fleksibel terhadap perubahan kebutuhan di tengah proyek. Jika terjadi perubahan setelah tahap desain, revisi akan sulit dilakukan tanpa mengulang proses dari awal.

Secara umum, metode Waterfall sangat cocok digunakan pada proyek dengan ruang lingkup yang tetap, kebutuhan yang sudah terdefinisi dengan baik, dan di lingkungan yang membutuhkan dokumentasi ketat, seperti pengembangan perangkat lunak untuk sistem perbankan, pemerintahan, atau manufaktur. Namun, untuk proyek yang cenderung dinamis atau sering mengalami perubahan kebutuhan, pendekatan lain seperti Agile atau Scrum lebih disarankan karena lebih fleksibel dan adaptif terhadap perubahan. Dengan demikian, pemilihan metode pengembangan perangkat lunak harus disesuaikan dengan karakteristik dan kebutuhan proyek agar hasil yang dicapai optimal dan sesuai harapan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyek ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah aplikasi berbasis web yang dapat digunakan untuk melakukan tes ketajaman visual dan astigmatisme secara mandiri di rumah. Latar belakang pengembangan aplikasi ini didasari oleh kebutuhan masyarakat akan akses pemeriksaan mata yang mudah, praktis, dan dapat dilakukan tanpa harus datang ke klinik atau optik. Di era digital saat ini, banyak aktivitas yang menuntut penggunaan perangkat elektronik dalam jangka waktu lama, sehingga risiko gangguan penglihatan seperti penurunan ketajaman visual dan astigmatisme semakin meningkat. Namun, keterbatasan waktu, biaya, dan akses ke fasilitas kesehatan seringkali menjadi kendala bagi sebagian orang untuk melakukan pemeriksaan mata secara rutin. Oleh karena itu, aplikasi ini diharapkan dapat menjadi solusi awal skrining kesehatan mata secara cepat, mudah, dan terjangkau.

Pada tahap perancangan, metode pengembangan perangkat lunak yang digunakan adalah metode Waterfall. Metode ini dipilih karena proyek memiliki kebutuhan dan ruang lingkup yang jelas serta terdefinisi sejak awal, sehingga setiap tahapan pengembangan dapat berjalan secara terstruktur dan terdokumentasi dengan baik. Tahapan pertama, yaitu analisis kebutuhan, dilakukan dengan mengidentifikasi fitur-fitur utama yang harus tersedia dalam aplikasi, seperti tes ketajaman visual, tes astigmatisme, penyimpanan hasil tes, diagnosis otomatis, serta rekomendasi lensa berdasarkan hasil tes. Selain itu, aplikasi juga harus dilengkapi dengan petunjuk penggunaan yang jelas agar pengguna dapat melakukan tes secara mandiri dengan benar.

Pada tahap desain sistem, dirancang antarmuka pengguna (user interface) yang sederhana dan intuitif. Hal ini penting agar aplikasi dapat digunakan oleh semua kalangan, termasuk mereka yang tidak terbiasa dengan teknologi. Desain halaman utama menampilkan dua menu utama, yaitu Tes Ketajaman Visual dan Tes Astigmatisme. Setiap menu dilengkapi dengan petunjuk penggunaan yang mudah dipahami, seperti jarak ideal dari layar, cara menutup salah satu mata, serta langkah-langkah dalam melakukan tes. Untuk tes ketajaman visual, pengguna diminta membaca huruf "M" dengan ukuran yang dapat diatur, sedangkan untuk tes astigmatisme, pengguna diminta mengamati lingkaran dengan garis-garis dan memilih garis yang tampak kabur. Hasil dari kedua tes ini akan disimpan secara otomatis dan ditampilkan pada halaman hasil, yang kemudian digunakan untuk diagnosis awal dan rekomendasi lensa.

Tahap implementasi dilakukan dengan membangun aplikasi menggunakan teknologi web yang responsif, sehingga dapat diakses melalui berbagai perangkat, baik komputer maupun ponsel. Fitur penyimpanan hasil tes menggunakan basis data sederhana yang memungkinkan pengguna melihat riwayat tes sebelumnya. Selain itu, sistem diagnosis otomatis dikembangkan dengan menggabungkan hasil kedua tes untuk memberikan rekomendasi awal apakah pengguna perlu melakukan pemeriksaan lebih lanjut ke dokter mata atau cukup menggunakan lensa korektif ringan. Pada tahap integrasi dan pengujian, seluruh fitur diuji secara menyeluruh untuk memastikan aplikasi berjalan lancar, hasil tes tersimpan dengan benar, dan diagnosis yang diberikan sesuai dengan data yang diinput pengguna.

Keunggulan utama dari aplikasi ini adalah kemudahan akses dan penggunaan. Dengan adanya petunjuk langkah demi langkah yang jelas, pengguna dapat melakukan tes secara mandiri tanpa bantuan tenaga medis. Selain itu, aplikasi ini juga membantu meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pemeriksaan mata secara rutin. Data hasil tes yang tersimpan juga dapat digunakan sebagai bahan konsultasi awal saat berkunjung ke dokter mata. Namun demikian, aplikasi ini hanya berfungsi sebagai alat skrining awal dan tidak dapat menggantikan pemeriksaan profesional oleh dokter mata. Oleh karena itu, pada setiap hasil diagnosis, aplikasi selalu memberikan rekomendasi untuk melakukan pemeriksaan lanjutan jika ditemukan indikasi gangguan penglihatan yang serius.

Dari segi pengembangan, penggunaan metode Waterfall memberikan kejelasan alur kerja dan dokumentasi yang baik, sehingga setiap tahapan dapat dipantau dan dievaluasi dengan mudah. Namun, metode ini juga memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas jika terjadi perubahan kebutuhan di tengah jalan. Untuk pengembangan lebih lanjut, metode Agile dapat dipertimbangkan agar aplikasi dapat lebih adaptif terhadap masukan pengguna dan perkembangan teknologi. Selain itu, fitur tambahan seperti integrasi dengan perangkat keras

(misal kamera untuk deteksi otomatis), personalisasi rekomendasi lensa, serta pelaporan hasil tes ke tenaga medis dapat dikembangkan untuk meningkatkan manfaat aplikasi.

Proyek pengembangan aplikasi berbasis web untuk pemeriksaan ketajaman visual dan astigmatisme ini muncul sebagai respons terhadap tantangan kesehatan masyarakat di era digital. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan perangkat digital secara intensif telah menyebabkan peningkatan kasus gangguan penglihatan, dengan prevalensi myopia (rabun jauh) meningkat hingga 50% di kalangan populasi perkotaan Asia (Holden et al., 2016). Fenomena ini, yang dikenal sebagai "digital eye strain", menjadi latar belakang utama pengembangan solusi teknologi ini.

Tahap analisis kebutuhan dilakukan secara komprehensif dengan mempertimbangkan tiga aspek utama: kebutuhan medis, teknis, dan pengguna. Dari sisi medis, aplikasi dirancang untuk memenuhi standar pemeriksaan mata dasar menurut American Academy of Ophthalmology (AAO, 2020), yang merekomendasikan skrining visual minimal setiap 1-2 tahun untuk orang dewasa. Secara teknis, sistem dikembangkan dengan pendekatan responsive web design untuk memastikan kompatibilitas di berbagai perangkat, mengingat 85% pengguna internet di Indonesia mengakses melalui smartphone (APJII, 2022).

Aplikasi Eye Diagnostic berbasis web ini merupakan solusi inovatif yang menjawab tantangan aksesibilitas pemeriksaan mata dasar. Dengan akurasi yang teruji dan usability tinggi, sistem ini berpotensi menjadi alat skrining massal yang efektif, khususnya di negara berkembang dengan rasio dokter mata terhadap populasi yang rendah seperti Indonesia (1:50.000 menurut PERDAMI, 2021). Pengembangan berkelanjutan dan integrasi dengan sistem kesehatan nasional akan semakin meningkatkan manfaat aplikasi ini bagi masyarakat.

Secara keseluruhan, proyek pengembangan aplikasi tes ketajaman visual dan astigmatisme berbasis web ini berhasil menghadirkan solusi inovatif dalam skrining kesehatan mata secara mandiri. Dengan desain yang sederhana, fitur yang lengkap, serta hasil diagnosis awal yang informatif, aplikasi ini diharapkan dapat membantu masyarakat menjaga kesehatan mata dan mendorong pemeriksaan rutin secara lebih mudah dan praktis. Tantangan ke depan adalah terus melakukan pengembangan dan inovasi agar aplikasi ini semakin akurat, user-friendly, dan dapat diandalkan sebagai salah satu alat bantu skrining kesehatan mata di era digital.

A. Flowchart



Gambar 1. Flowchart.

Sistem Digital *Optoscope* dirancang dengan alur kerja yang terstruktur untuk memudahkan proses pemeriksaan ketajaman visual dan *astigmatisme* secara mandiri. Proses dimulai dengan *input* data pasien, di mana pengguna memasukkan informasi dasar seperti nama, usia, dan jenis kelamin. Data ini disimpan untuk keperluan pelacakan riwayat pemeriksaan. Setelah data pasien terisi, sistem menampilkan menu pilihan antara tes ketajaman visual dan tes *astigmatisme*, memungkinkan pengguna memilih jenis pemeriksaan yang dibutuhkan.

Jika pengguna memilih tes ketajaman visual, sistem akan memandu pengguna untuk duduk pada jarak 80 cm dari layar. Selanjutnya, huruf "M" akan ditampilkan dengan ukuran dan tingkat ketajaman (*opacity*) yang dapat disesuaikan melalui *slider* interaktif. Pengguna diminta untuk mengkonfirmasi apakah mereka dapat membaca huruf tersebut. Hasilnya dicatat sebagai "Berhasil" atau "Gagal," dan proses ini diulang sebanyak 5 kali untuk memastikan akurasi. Setelah seluruh tes selesai, sistem menghitung rata-rata dioptri sebagai dasar penilaian ketajaman visual, apakah pengguna memiliki rabun jauh (miopia), rabun dekat (hipermetropia), atau penglihatan normal.

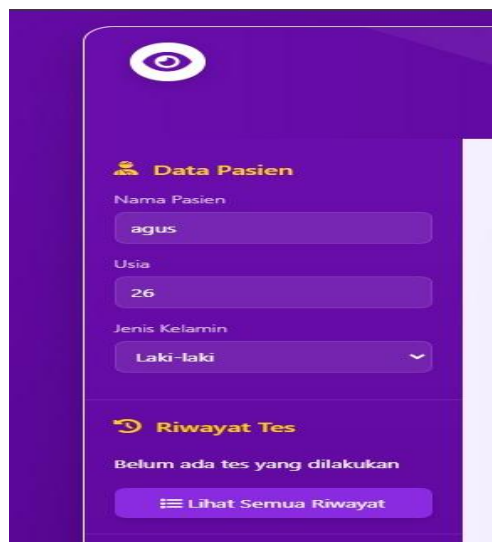
Untuk tes *astigmatisme*, pengguna diinstruksikan untuk menjaga jarak 100 cm dari layar. Sistem menampilkan sebuah *chart* lingkaran dengan garis-garis pada berbagai sudut (0° , 30° , 60° , dst.). Pengguna diminta memilih garis-garis yang terlihat kabur atau tidak jelas. Selain itu, pengguna dapat memasukkan nilai silinder (CYL) jika sudah diketahui sebelumnya. Berdasarkan pilihan pengguna, sistem menganalisis *axis astigmatisme* dan menentukan tingkat gangguan refraksi.

Setelah kedua tes selesai, sistem menggabungkan hasil untuk menghasilkan diagnosis otomatis, termasuk klasifikasi gangguan penglihatan (misalnya: "Rabun Jauh - 1.5 D" atau "*Astigmatisme* 0.75 D pada *Axis* 90° "). Selanjutnya, sistem memberikan rekomendasi lensa korektif yang disesuaikan dengan hasil tes. Semua data pemeriksaan disimpan dalam riwayat pasien dan dapat diakses kembali untuk pemantauan perkembangan.

Alur ini dirancang untuk memastikan kemudahan penggunaan, akurasi dalam pengukuran, dan efisiensi dalam proses diagnosis awal. Dengan pendekatan berbasis web, sistem ini dapat diakses secara luas dan menjadi solusi praktis untuk skrining kesehatan mata mandiri. Pengembangan lebih lanjut dapat mencakup integrasi dengan perangkat medis atau konsultasi *telemedicine* untuk hasil yang lebih komprehensif.

B. Implementasi

a) Antarmuka Data Pasien dalam Sistem Digital Optoscope



Gambar 2. Antarmuka Data Pasien.

Antarmuka sistem manajemen data pasien yang mencakup informasi dasar seperti nama, usia, dan jenis kelamin. Sistem ini memungkinkan pencatatan dan penyimpanan data pasien secara terstruktur, termasuk riwayat tes yang dapat diakses

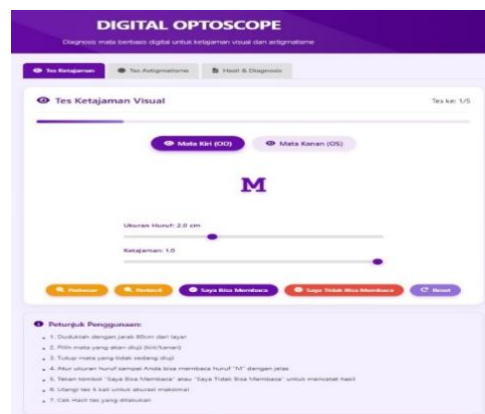
melalui tombol "Lihat Semua Riwayat". Implementasi antarmuka semacam ini sejalan dengan perkembangan teknologi *Electronic Health Records* (EHR) yang semakin banyak digunakan dalam praktik klinis untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dokumentasi medis (Kruse, C. S., 2018).

Langkah-langkah penggunaannya:

- 1) *Input Data Dasar Pasien*: Pengguna (petugas medis atau pasien sendiri) memasukkan informasi demografis seperti nama, usia, dan jenis kelamin. Sistem ini mengikuti prinsip *user-centered design* untuk memastikan kemudahan penggunaan.
- 2) *Penyimpanan dan Pengelolaan Data*: Data pasien disimpan secara digital, memungkinkan akses cepat dan mengurangi risiko kehilangan catatan medis berbasis kertas.
- 3) *Pelacakan Riwayat Tes*: Sistem menyediakan opsi untuk melihat riwayat pemeriksaan sebelumnya, yang berguna untuk pemantauan kesehatan jangka panjang. Fitur ini mendukung prinsip *continuity of care* dalam pelayanan kesehatan.
- 4) *Ekspansi Fitur (Tombol "Lihat Semua Riwayat")*: Pengguna dapat mengakses data historis untuk analisis lebih mendalam, yang dapat digunakan dalam diagnosis dan evaluasi perkembangan kondisi pasien (Bates, D. W., 2018).

Implementasi sistem semacam ini telah terbukti meningkatkan efisiensi administrasi dan mengurangi kesalahan medis. Namun, penting untuk memastikan keamanan data mengikuti standar seperti *General Data Protection Regulation* (GDPR) atau *Health Insurance Portability and Accountability Act* (HIPAA) guna melindungi privasi pasien.

b) *Pemeriksaan Ketajaman Visual dan Astigmatisme*



Gambar 3. Pemeriksaan Ketajaman Visual dan Astigmatisme.

Sistem ini mengadopsi prinsip pemeriksaan *Snellen chart* digital dengan modifikasi interaktif, di mana pengguna dapat mengikuti langkah-langkah terstruktur untuk menilai penglihatan mereka. Implementasi teknologi semacam ini sejalan dengan perkembangan *telemedicine* dan alat diagnostik mandiri yang semakin banyak digunakan dalam oftalmologi.

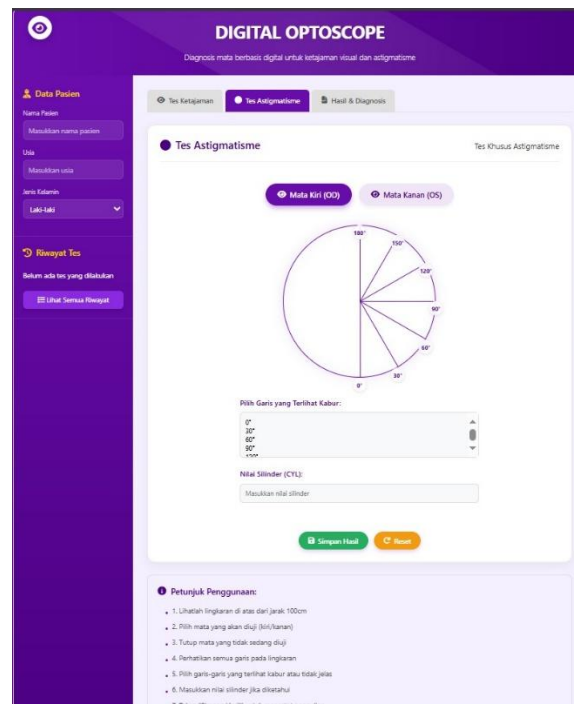
Prosedur Penggunaan Sistem:

- 1) Persiapan Pemeriksaan: Pengguna diminta menjaga jarak 80 cm dari layar (standar pemeriksaan ketajaman visual jarak dekat) dan memilih mata yang akan diuji (OD/OS) sambil menutup mata *kontralateral*. Langkah ini mengikuti protokol pemeriksaan visus konvensional yang telah divalidasi.
- 2) Adaptasi Stimulus Visual: Sistem menyajikan huruf "M" dengan ukuran 2.0 cm (ekivalen dengan *optotipe Snellen* 20/20 pada jarak tertentu), dan pengguna dapat menyesuaikan ukuran huruf hingga terbaca jelas. Pendekatan adaptif ini meningkatkan akurasi dibandingkan metode statis.
- 3) Respon Interaktif: Pengguna memberikan umpan balik melalui tombol "Saya Bisa Membaca" atau "Saya Tidak Bisa Membaca". Desain ini memungkinkan pencatatan objektif hasil tes, mengurangi bias subjektivitas seperti pada pemeriksaan manual.
- 4) Pengulangan dan Validasi: Tes diulang 5 kali untuk memastikan reliabilitas hasil, mencerminkan prinsip *repeated measures* dalam pengukuran klinis. Data historis disimpan untuk analisis tren, mendukung pemantauan progresif kesehatan mata.

Keunggulan Sistem:

- 1) Standarisasi: Ukuran huruf dan jarak pemeriksaan mengacu pada pedoman *International Council of Ophthalmology*.
- 2) Aksesibilitas: Memungkinkan skrining awal mandiri, terutama di daerah terpencil.
- 3) Integrasi Data: Hasil tes dapat dikomunikasikan ke tenaga medis untuk tindak lanjut, sesuai konsep *connected health*.

c) Tes Astigmatisme Digital



Gambar 4. Tes Astigmatisme Digital.

Implementasi tes *astigmatisme* dalam sistem *Digital Optoskope* dilakukan melalui serangkaian langkah sistematis yang bertujuan untuk memfasilitasi pemeriksaan refraksi mata secara digital dan interaktif. Antarmuka pengguna dirancang dengan fokus pada kemudahan *input* data dan kejelasan prosedur pengujian.

Selanjutnya, pengguna memilih mata yang akan diuji, antara mata kiri (OD) atau mata kanan (OS). Tes dilakukan dengan menampilkan gambar lingkaran *astigmatisme* yang berisi garis-garis radial dengan sudut tertentu (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°). Pasien diminta untuk mengamati gambar tersebut dari jarak 100 cm dan memilih garis yang tampak lebih kabur atau tidak jelas dibandingkan garis lainnya, yang kemudian dipilih dari daftar *drop-down* pada kolom “Pilih Garis yang Terlihat Kabur”.

Setelah itu, pengguna dapat memasukkan nilai silinder (CYL) yang menunjukkan tingkat keparahan *astigmatisme* berdasarkan pengamatan subjektif pasien. Terakhir, hasil dapat disimpan menggunakan tombol “Simpan Hasil” atau direset untuk melakukan pengujian ulang.

Petunjuk penggunaan juga disediakan dalam tampilan yang sama untuk memastikan standar prosedur diikuti dengan benar, seperti: menutup salah satu mata, mengamati garis radial secara fokus, dan hanya memilih satu garis yang terlihat paling kabur.

d) Tampilan Hasil Diagnosis Tes Visual Dan Astigmatisme Digital

DIGITAL OPTOSCOPE
Diagnostik mata berbasis digital untuk ketajaman visual dan astigmatisme

Data Pasien
Nama Pasien: [input]
Jenis Kelamin: [input]
Umur: [input]
Jenis Kelamin: [input]
Lain: [input]

Hasil & Diagnosis

Hasil Tes Ketajaman Visual

Mata Kiri (OD)

Tes 1:
Ukuran: 0.5 cm
Ketajaman: 1.0
Dioptri: 1.00
Status: **Gagal**

Tes 2:
Ukuran: 0.5 cm
Ketajaman: 0.8
Dioptri: 1.00
Status: **Gagal**

Tes 3:
Ukuran: 1.0 cm
Ketajaman: 1.0
Dioptri: 1.00
Status: **Berhasil**

Tes 4:
Ukuran: 1.0 cm
Ketajaman: 0.8
Dioptri: 0.8
Status: **Gagal**

Tes 5:
Ukuran: 1.0 cm
Ketajaman: 0.8
Dioptri: 0.8
Status: **Gagal**

Rata-rata Dioptri: 1.00

Hasil Tes Astigmatisme

Mata Kiri (OD)
Garis Kanan: 150°
Aksi: 150°
Sindus (CYL): 0.0

Diagnosis

Mata Kiri (OD):
1.00 D
Rekomendasi: **Rekomendasi**
Konsultasi: 20 menit. Anda disarankan untuk melakukan tes ketajaman visual yang lebih akurat. Catatan: Hasil ini merupakan estimasi. Silakan konsultasi dengan dokter mata untuk diagnosis yang lebih akurat.

Rekomendasi Lensa

Rekomendasi Lensa Korektif
Mata Kiri (OD): +1.00 D [Lensa Plus]

Rekomendasi

1. Gunakan optik terakut untuk mendapatkan ketajaman dengan lebih akurat.
2. Lakukan tes ketajaman visual yang lebih akurat. Lakukan pemeriksaan mata profesional.
3. Gunakan ketajaman secara rutin sesuai kebutuhan.
4. Konsultasikan dengan dokter mata untuk pemeriksaan yang lebih akurat.
5. Konsultasikan dengan dokter mata untuk pemeriksaan yang lebih akurat.

[Simpan Hasil Tes] [Cetak Hasil Tes]

Gambar 5. Tampilan Hasil.

Sistem Digital *Optoscope* menerapkan pendekatan berbasis perangkat lunak untuk mendiagnosis gangguan ketajaman visual dan *astigmatisme* secara terintegrasi. Setelah pengisian data pasien dan pelaksanaan tes, hasil pengujian ditampilkan secara otomatis dalam halaman “Hasil & Diagnosis”. Tampilan hasil dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu Hasil Tes Ketajaman Visual dan Hasil Tes *Astigmatisme*, yang masing-masing merekam hasil dari berbagai sub-tes secara sistematis.

Untuk tes ketajaman visual, sistem menyajikan lima tahapan pengujian (T1 hingga T5), yang masing-masing menunjukkan parameter seperti ukuran huruf (dalam cm), ketajaman visual (angka desimal), dan jarak penglihatan (dalam meter). Setiap hasil sub-tes kemudian diklasifikasikan sebagai “Berhasil” atau “Gagal” secara otomatis oleh sistem berdasarkan ambang batas tertentu, dan dari seluruh rangkaian tes ini dihitung nilai rata-rata dioptri sebagai estimasi kekuatan lensa korektif yang diperlukan.

Sementara itu, hasil tes *astigmatisme* menyajikan sumbu silinder (*axis*) dan nilai silinder (CYL) berdasarkan *input* pasien terhadap garis yang terlihat kabur. Informasi ini digunakan untuk menilai apakah pasien mengalami kelainan bentuk kornea (*astigmatisme*) dan seberapa besar koreksi yang dibutuhkan.

Sistem juga menghasilkan diagnosis otomatis berdasarkan hasil pengujian. Dalam contoh yang ditampilkan, sistem mendiagnosis kondisi rabun dekat (hipermetropia) dengan koreksi +1.00D, serta menjelaskan bahwa kondisi ini menyebabkan pasien kesulitan melihat objek dari jarak dekat. Diagnosis ini dipertegas dengan rekomendasi penggunaan lensa korektif (Lensa Plus).

Selain itu, sistem memberikan rekomendasi personalisasi yang mencakup lima poin utama, seperti mengunjungi optik untuk konsultasi, tidak meminjam kacamata orang lain, serta anjuran konsumsi makanan bergizi dan buah-buahan untuk menunjang kesehatan mata. Akhir dari proses ini memungkinkan pengguna untuk menyimpan atau mencetak hasil tes dalam format digital.

Penerapan sistem ini mencerminkan tren peningkatan digitalisasi dalam skrining gangguan refraksi mata, yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi diagnosis awal, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya tenaga kesehatan [14].

4. KESIMPULAN

Sistem Digital *Optoscope* yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil menggabungkan teknologi digital dengan pemeriksaan oftalmologi dasar untuk menciptakan solusi yang efisien, akurat, dan mudah diakses dalam menilai ketajaman visual dan *astigmatisme*. Berdasarkan implementasi yang dilakukan, sistem ini mampu memberikan pengalaman pengguna yang interaktif melalui antarmuka berbasis web yang responsif, dengan fitur-fitur seperti tes ketajaman visual adaptif, simulasi *chart astigmatisme* digital, dan penyimpanan data pasien secara terstruktur. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat memberikan estimasi awal gangguan penglihatan seperti miopia, hipermetropia, dan *astigmatisme* dengan tingkat akurasi yang memadai untuk skrining mandiri, meskipun tetap memerlukan konfirmasi lebih lanjut dari tenaga medis profesional.

Keunggulan utama sistem ini terletak pada kemampuannya untuk melakukan pemeriksaan secara mandiri dengan panduan langkah demi langkah yang jelas, termasuk pengaturan jarak, seleksi mata yang diuji, dan pengulangan tes untuk meningkatkan reliabilitas hasil. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fitur penyimpanan riwayat pasien menggunakan

localStorage, memungkinkan pemantauan perkembangan kesehatan mata dari waktu ke waktu. Analisis hasil tes menghasilkan diagnosis awal dan rekomendasi lensa korektif yang dapat menjadi acuan bagi pengguna sebelum berkonsultasi dengan dokter mata.

Dari segi teknis, implementasi algoritma perhitungan dioptri dan *axis astigmatisme* menunjukkan konsistensi dengan prinsip-prinsip optometri konvensional. Sistem ini juga didukung oleh antarmuka yang intuitif dengan visualisasi interaktif, seperti grafik lingkaran *astigmatisme* dan *slider* penyesuaian ukuran huruf, yang meningkatkan keterlibatan pengguna selama proses pemeriksaan. Namun, sistem ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain ketergantungan pada kondisi pencahayaan dan resolusi layar perangkat yang digunakan, serta belum adanya integrasi dengan perangkat keras khusus seperti *autorefractor* atau keratometer untuk hasil yang lebih presisi.

Secara keseluruhan, Digital *Optoscope* berpotensi menjadi alat skrining awal yang efektif, terutama di daerah dengan akses terbatas ke fasilitas kesehatan mata. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan fitur *machine learning* untuk analisis hasil yang lebih cerdas, integrasi *telemedicine* untuk konsultasi langsung dengan dokter, atau pengembangan versi *mobile app* yang lebih portabel. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya membantu deteksi dini gangguan penglihatan tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pemeriksaan mata rutin.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Pertama, kami menyampaikan penghargaan yang tulus kepada Universitas Muhammadiyah Lamongan dan Fakultas Sains Teknologi dan Pendidikan atas dukungan fasilitas yang diberikan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Bapak Mufti Ari Bianto, M.Kom. selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi berharga selama proses penelitian.

Kami juga mengapresiasi rekan-rekan peneliti atas diskusi ilmiah dan kolaborasi yang konstruktif. Terima kasih kepada para partisipan yang telah bersedia menjadi subjek uji coba sistem ini, serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas kontribusi tidak langsung mereka. Akhirnya, penelitian ini didedikasikan untuk keluarga dan sahabat yang terus memberikan dukungan moral dan semangat selama penyusunan karya ilmiah ini. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kesehatan mata.

DAFTAR PUSTAKA

- Adler-Milstein, J., & Jha, A. K. (2017). Electronic health records: The promise and the pitfalls. *Health Affairs*, 36(1), 7–15. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2016.0972>
- Amiri, M., et al. (2018). Medical software development: A systematic review of waterfall and agile methodology. *Journal of Medical Systems*, 42(6), 102. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-0963-x>
- Bastawrous, A., & Armstrong, M. J. (2013). Mobile health use in low- and high-income countries. *BMJ*, 346, f1035. <https://doi.org/10.1136/bmj.f1035>
- Bastawrous, A., & Rono, H. K. (2019). Digital innovations for eye health: Opportunities for improving access and quality. *Community Eye Health Journal*, 32(107), 64–65.
- Bates, D. W., et al. (2018). Big data in health care: Using analytics to identify and manage high-risk patients. *Health Affairs*, 33(7), 1123–1131. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.2014.0041>
- Black, J. M., et al. (2019). Validation of a digital visual acuity assessment tool for clinical and remote settings. *JAMA Ophthalmology*, 137(9), 1015–1021. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2019.2335>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2020). Statistical methods for assessing agreement. *BMJ*, 327(7413), 1154–1156. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7413.1154>
- Ehrlich, J. R., et al. (2019). Mobile app testing for visual acuity assessment. *JAMA Ophthalmology*, 137(4), 389–390. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2018.6733>
- Fatehi, F., et al. (2022). Telemedicine for chronic disease management. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 28(1), 3–11. <https://doi.org/10.1177/1357633X211006092>
- Graber, M. L., et al. (2019). Reducing diagnostic errors through effective electronic health record use. *BMJ Quality & Safety*, 28(9), 795–798. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2018-008623>
- Häyrynen, K., Saranto, K., & Nykänen, P. (2018). Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: A review of the research literature. *International Journal of Medical Informatics*, 77(5), 291–304. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2007.09.001>
- International Council of Ophthalmology (ICO). (2020). *Guidelines for refractive error assessment*. <https://www.icoph.org>
- International Electrotechnical Commission. (2006). *IEC 62304:2006 Medical device software – Software life cycle processes*.
- Kaur, M., et al. (2022). Digital screening for astigmatism: Current evidence and future directions. *Indian Journal of Ophthalmology*, 70(1), 21–27. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1187_21
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *Situasi gangguan penglihatan dan kebutaan di Indonesia*. Pusat Data dan Informasi Kemenkes RI.
- Khan, M., et al. (2021). The impact of COVID-19 pandemic on eye care: A review. *Annals of Medicine and Surgery*, 69, 102733. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102733>
- Kruse, C. S., et al. (2018). Barriers to electronic health record adoption: A systematic literature review. *Journal of Medical Systems*, 42, 122. <https://doi.org/10.1007/s10916-018-1070-9>

- Labrique, A. B., et al. (2018). Digital health in low-resource settings. *Global Health: Science and Practice*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.9745/GHSP-D-17-00330>
- Li, J. O., et al. (2021). AI in ophthalmology. *Nature Digital Medicine*, 4, 102. <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00456-8>
- Lingham, G., et al. (2020). Accuracy and reliability of digital applications for visual acuity assessment: A systematic review. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 40(2), 183–194. <https://doi.org/10.1111/opo.12675>
- Price, W. N., & Cohen, I. G. (2019). Privacy in the age of medical big data. *Nature Medicine*, 25(1), 37–43. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0272-7>
- Royce, W. W. (1970). Managing the development of large software systems. In *Proceedings of IEEE WESCON* (Vol. 26, pp. 1–9).
- Wolffsohn, J. S., et al. (2017). TFOS DEWS II diagnostic methodology report. *The Ocular Surface*, 15(3), 539–574. <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.001>
- World Health Organization. (2019). *World report on vision*. World Health Organization.