

Tinjauan Sistematis: Teknik eye tracking untuk penyakit Skizofrenia

Septua Fujima Saragih¹, Ricci Kincihar Kevin Bastoto Ginting², Yusuf Natanael Simanjuntak³, Adli Abdillah Nababan⁴, Evta Indra⁵

^{1,2,3,4,5}Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Prima Indonesia

Email: ¹asep665q@gmail.com, ²ricci321ginting@gmail.com, ³yusufjtk25@gmail.com, ⁴adliabdillahnababan@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: ⁵evtaindra@unprimdn.ac.id

Abstrak—Teknologi pelacakan mata telah muncul sebagai alat inovatif dalam memahami dan mendiagnosis skizofrenia, dengan menunjukkan potensi signifikan dalam mengungkap pola gerakan mata yang berbeda antara pasien dan individu sehat. Studi literatur menunjukkan bahwa fiksasi mata yang tidak teratur dan saccades yang tidak konsisten pada pasien skizofrenia dapat mengindikasikan gangguan dalam pemrosesan informasi visual dan alokasi perhatian. Metrik pelacakan mata, seperti durasi tatapan dan stabilitas fiksasi, memberikan wawasan penting tentang fungsi kognitif dan keadaan emosional pada pasien. Integrasi teknologi eye tracking dengan teknik pembelajaran mesin, termasuk *eXtreme Gradient Boosting* (XGB) dan *Support Vector Machines* (SVM), telah mencapai akurasi diagnostik hingga 94%, menyoroti potensi besar untuk meningkatkan ketepatan diagnosis. Meskipun kemajuan ini menjanjikan, tantangan seperti variabilitas gejala antar individu, kenyamanan pasien, dan kebutuhan untuk protokol standar tetap ada. Pengembangan sistem pelacakan mata non-intrusif dan aplikasi dalam *virtual reality* (VR) menunjukkan potensi untuk terapi inovatif. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan memastikan penerapan teknologi ini dalam praktik klinis yang efektif dan konsisten.

Kata Kunci: Teknologi Eye Tracking, Skizofrenia, Analisis Kognitif, Pembelajaran Mesin, Fiksasi mata

Abstract—Eye tracking technology has emerged as an innovative tool for understanding and diagnosing schizophrenia, demonstrating significant potential in revealing different eye movement patterns between patients and healthy individuals. Literature studies indicate that irregular eye fixations and inconsistent saccades in schizophrenia patients may indicate disruptions in visual information processing and attention allocation. Eye tracking metrics, such as gaze duration and fixation stability, provide crucial insights into cognitive functions and emotional states in patients. Integration of eye tracking technology with machine learning techniques, including *eXtreme Gradient Boosting* (XGB) and *Support Vector Machines* (SVM), has achieved diagnostic accuracy up to 94%, highlighting its potential to enhance diagnostic precision. Despite these promising advances, challenges such as symptom variability among individuals, patient comfort, and the need for standard protocols remain. The development of non-intrusive eye tracking systems and applications in *virtual reality* (VR) shows potential for innovative therapies. Further research is needed to address these challenges and ensure effective and consistent implementation of this technology in clinical practice.

Keywords: Eye Tracking Technology, Schizophreni, Cognitive Analysis, Machine Learning, Eye fixation

1. PENDAHULUAN

Integrasi teknologi pelacakan mata ke dalam diagnostik dan pengobatan kesehatan mental telah menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam meningkatkan pemahaman dan pengelolaan gangguan mental. Teknologi ini, bersama intervensi digital lainnya, membentuk kembali perawatan kesehatan mental dengan menyediakan metode inovatif untuk penilaian dan perawatan. Seiring dengan perkembangan teknologi informasi yang semakin canggih, metode baru seperti pelacakan mata telah muncul sebagai alat penting dalam mendiagnosis dan memahami gangguan mental, membantu para profesional kesehatan dalam memberikan perawatan yang lebih tepat dan efektif. Pelacakan mata dapat menawarkan wawasan tentang proses kognitif dan respons emosional, serta memungkinkan pemantauan respon pasien secara real-time, yang dapat meningkatkan keakuratan penilaian dibandingkan dengan metode tradisional [1][2]. Selain itu, intervensi kesehatan mental digital, termasuk yang menggunakan pelacakan mata, telah ditemukan lebih efektif daripada perawatan tatap muka untuk mengelola kecemasan dan depresi [1]. Sebuah meta-analisis menunjukkan bahwa pesan online dan platform digital lainnya secara signifikan meningkatkan hasil kesehatan mental, terutama ketika didukung oleh profesional perawatan kesehatan [1]. Namun, meskipun teknologi ini menawarkan manfaat yang signifikan, tantangan seperti kekhawatiran dokter dan faktor sosial ekonomi dapat menghambat adopsi luasnya [3]. Efektivitas alat digital, termasuk pelacakan mata, bergantung pada kegunaannya dan keterlibatan pengguna, terutama di kalangan anak muda [3]. Oleh karena itu, meskipun pelacakan mata dan teknologi digital membawa kemajuan signifikan dalam perawatan kesehatan mental, penelitian yang berkelanjutan sangat penting untuk mengatasi tantangan implementasi dan mengoptimalkan efektivitasnya dalam populasi yang beragam.

Teknologi pelacakan mata telah muncul sebagai alat yang ampuh untuk memahami proses kognitif, terutama dalam konteks kesehatan mental seperti skizofrenia. Dengan menganalisis gerakan mata, peneliti dapat memperoleh wawasan mendalam tentang bagaimana seseorang memproses informasi visual, terutama dalam hal perhatian visual dan pola kognitif yang sering terganggu pada individu dengan gangguan kesehatan mental. Pelacakan mata dapat mengungkapkan defisit kognitif pada skizofrenia dengan memantau pola gerakan mata, yang dapat mengindikasikan kesulitan dalam memproses informasi visual dan alokasi perhatian [4]. Teknologi ini telah digunakan dalam berbagai bidang, termasuk pemasaran, pendidikan, dan interaksi manusia-komputer, serta dalam pengaturan kesehatan mental untuk menilai upaya kognitif, menunjukkan potensinya dalam mengidentifikasi pola perilaku kognitif yang terganggu [5]. Perkembangan terbaru dalam teknologi pelacakan mata, seperti penggunaan antarmuka fleksibel yang canggih, telah

meningkatkan akurasi dan pemanfaatan teknologi ini dalam berbagai bidang, termasuk pemantauan kesehatan mental [6]. Kemajuan ini memungkinkan analisis gerakan mata secara real-time, yang dapat menjadi penting untuk memahami perilaku dan preferensi pasien dalam konteks pengobatan. [7]. Meskipun pelacakan mata menawarkan potensi signifikan untuk memajukan penelitian kesehatan mental, tantangan tetap ada dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam praktik klinis, terutama mengenai kenyamanan pasien dan interpretasi data.

Skizofrenia adalah gangguan mental yang kompleks, ditandai dengan gangguan pada pemikiran, persepsi, emosi, dan perilaku. Diagnosis skizofrenia sering kali menantang karena gejala yang ditampilkan sangat subjektif dan bervariasi antarindividu, mempersulit proses diagnostik dan pengelolaan penyakit ini. Penelitian terbaru menekankan perlunya metode diagnostik yang lebih objektif dan pendekatan pengobatan yang dipersonalisasi untuk meningkatkan hasil bagi individu dengan gangguan ini. Gejala skizofrenia yang sangat subjektif mengharuskan revisi kriteria diagnostik tradisional untuk memasukkan faktor neurobiologis, genetik, dan lingkungan, guna mencapai pemahaman yang lebih komprehensif tentang gangguan tersebut [8]. Penelitian telah mengidentifikasi gangguan kognitif sebagai fitur inti skizofrenia, terkait dengan faktor genetik dan lingkungan, serta kelainan pada struktur otak dan jalur biokimia yang memandu pengembangan pengobatan yang efektif [9][10]. Ada penekanan yang berkembang pada strategi pengobatan yang dipersonalisasi yang menggabungkan intervensi farmakologis dan non-farmakologis untuk mengatasi defisit kognitif [11]. Sementara kemajuan signifikan telah dibuat dalam memahami skizofrenia, sifat subjektif dari gejalanya terus menimbulkan tantangan. Penelitian di masa depan harus fokus pada penyempurnaan kriteria diagnostik dan pengembangan intervensi yang ditargetkan untuk meningkatkan perawatan pasien.

Dalam beberapa dekade terakhir, pelacakan mata telah muncul sebagai alat yang potensial untuk memahami dan menganalisis skizofrenia, mengungkapkan pola gerakan mata yang berbeda pada pasien dibandingkan dengan individu yang sehat. Penelitian telah menunjukkan bahwa pasien skizofrenia sering menunjukkan gerakan mata yang tidak normal, seperti fiksasi tidak teratur dan sakade, yang dapat dianalisis secara kuantitatif melalui teknologi ini [12][13]. Temuan ini menunjukkan bahwa pelacakan mata dapat berkontribusi dalam mengembangkan metode diagnosis yang lebih objektif dengan menawarkan biomarker potensial yang berkorelasi dengan disfungsi kognitif [12]. Selain itu, studi terbaru telah mengintegrasikan teknik pembelajaran mesin dengan data pelacakan mata untuk meningkatkan akurasi diagnostik, misalnya dengan menganalisis metrik gerakan mata bersama data *elektroensefalografi* (EEG) [14][15]. Kombinasi ini, bersama dengan modalitas lain seperti biosignal, meningkatkan ketahanan penilaian kognitif [12]. Meskipun pelacakan mata menunjukkan harapan besar, penting untuk mempertimbangkan kompleksitas skizofrenia, yang memerlukan pendekatan multifaset untuk diagnosis dan pengobatan. Oleh karena itu, pengembangan berkelanjutan dari metode evaluasi standar untuk algoritma pelacakan mata sangat penting untuk aplikasi klinis [13]. Penelitian di masa depan mungkin fokus pada penyempurnaan teknologi ini guna menciptakan alat diagnostik yang lebih objektif untuk skizofrenia.

Dalam penelitian ini, kami akan menelusuri berbagai penelitian yang telah dilakukan menggunakan teknologi eye tracking pada pasien skizofrenia, mengevaluasi temuan-temuan utama, serta mengidentifikasi tantangan yang masih ada. Kajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana *eye tracking* dapat digunakan dalam diagnosis dan pemahaman skizofrenia, serta implikasi potensialnya untuk penelitian dan praktik klinis di masa depan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Teknik Eye Tracking

Teknologi pelacakan mata kini menjadi alat yang efektif untuk mengevaluasi bagaimana pasien memproses informasi dan mengatur perhatian visual, termasuk dalam hal fiksasi, saccades, dan pola tatapan [16][17]. Teknologi ini memungkinkan peneliti untuk menilai secara kuantitatif bagaimana individu berinteraksi dengan rangsangan visual, mengungkapkan wawasan tentang keadaan mental dan perilaku. Metrik pelacakan mata, seperti *fiksasi* (jeda dalam tatapan), *saccades* (pergerakan mata), dan *smooth pursuit* (melacak objek bergerak), dapat menunjukkan beban kognitif dan keadaan emosional, memberikan wawasan yang lebih dalam ke fungsi kognitif yang lebih tinggi [16][18]. Dalam penelitian kesehatan mental, pelacakan mata telah digunakan untuk mengidentifikasi biomarker untuk berbagai gangguan seperti depresi, dengan fokus pada perbedaan pola gerakan mata pada individu yang terpengaruh [16]. Kemajuan dalam algoritma juga telah meningkatkan kemampuan teknologi ini, dengan teknik pembelajaran mesin seperti *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Random Forest* yang memperbarui akurasi dalam mengklasifikasikan gerakan mata [17]. Meskipun pelacakan mata menawarkan wawasan signifikan tentang proses kognitif dan emosional, tantangan tetap ada dalam standarisasi metodologi dan meningkatkan akurasi algoritmik, menunjukkan perlu adanya penelitian yang lebih lanjut dalam bidang ini [17].



Gambar 1. Penggunaan alat eye tracking[19]

2.2 Analisis Pola Gerakan Mata

Pada pasien skizofrenia, penelitian menunjukkan bahwa pola gerakan mata sering kali berbeda dari individu yang sehat. Gejala-gejala yang diteliti meliputi:

1. Fiksasi Tidak Teratur: Perubahan dalam durasi dan lokasi fiksasi dapat mengindikasikan kesulitan dalam pemrosesan informasi visual [20].
2. Saccades Tidak Teratur: Gerakan mata yang cepat dan tidak teratur dapat menunjukkan gangguan dalam alokasi perhatian dan pemrosesan informasi [21].

2.3 Heatmaps

Heatmaps pada eye tracking adalah visualisasi grafis dari data yang menunjukkan di mana mata seseorang fokus saat melihat suatu objek, gambar, atau layar. Heatmaps dibuat dengan memberikan warna pada setiap titik pada gambar yang merepresentasikan tingkat aktivitas mata pada titik tersebut. Warna yang digunakan biasanya memiliki rentang dari merah (atau kuning) hingga biru (atau hijau) untuk menunjukkan tingkat intensitas pandangan. Warna merah atau kuning menandakan area dengan intensitas pandangan yang tinggi, yang menunjukkan bahwa partisipan sering melihat ke area tersebut. Warna hijau atau biru menandakan area dengan intensitas pandangan yang rendah atau jarang, menunjukkan bahwa partisipan kurang memperhatikan area tersebut. Dengan menganalisis heatmaps, peneliti dapat melihat pola atensi visual partisipan dengan lebih jelas, mengidentifikasi area yang menarik minat mereka secara signifikan, serta area yang mungkin kurang menarik perhatian mereka [22]



Gambar 2. Heatmap Pergerakan Mata[19]

2.3 Integrasi dengan Teknik Pembelajaran Mesin

Integrasi data pelacakan mata dengan teknik pembelajaran mesin telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam meningkatkan akurasi diagnostik untuk skizofrenia. Penelitian menunjukkan bahwa algoritma pembelajaran mesin, seperti *eXtreme Gradient Boosting* (XGB), dapat secara efektif menganalisis sinyal *elektroensefalografi* (EEG) dengan mencapai akurasi 94% dalam mengklasifikasikan pasien skizofrenia [23]. Selain itu, pola gerakan mata juga mengungkapkan perbedaan perilaku signifikan di antara individu dengan skizofrenia, yang dapat diklasifikasikan menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) dengan akurasi tinggi [24]. Menggabungkan pelacakan mata dengan data EEG memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang gangguan tersebut, karena kedua modalitas menangkap aspek yang berbeda dari pemrosesan kognitif [23][24]. Meskipun integrasi teknologi ini menawarkan kemajuan signifikan dalam mendiagnosis skizofrenia, tantangan tetap ada dalam mengoptimalkan keakuratan model pembelajaran mesin dan memastikan penerapan klinisnya. Penelitian lebih lanjut sangat penting untuk menyempurnakan metode ini dan memvalidasi efektivitasnya dalam populasi yang beragam.

2.4 Evaluasi Kognitif dan Emosional

Teknologi pelacakan mata telah muncul sebagai alat yang berharga untuk mengevaluasi aspek kognitif dan emosional skizofrenia dengan menganalisis interaksi pasien dengan rangsangan visual. Dengan menganalisis bagaimana pasien berinteraksi dengan rangsangan visual, teknologi ini memberikan wawasan tambahan tentang gangguan kognitif, seperti kesulitan dalam memfokuskan perhatian dan mengolah informasi kompleks [25][26]. Pelacakan mata mengungkapkan gangguan signifikan dalam gerakan mata dan fungsi kognitif di antara pasien dengan skizofrenia, membedakan mereka dari kontrol yang sehat, serta menunjukkan tantangan kognitif yang dihadapi oleh pasien ini [25][26]. Selain itu, teknologi ini membantu dalam memahami respons emosional, karena pola tatapan atipikal yang diamati pada pasien dapat mencerminkan kesulitan dalam memproses rangsangan emosional, yang penting untuk interaksi sosial [26][27]. Meskipun pelacakan mata memberikan wawasan berharga, penerapannya dalam praktik klinis masih menghadapi tantangan, seperti kebutuhan akan keterampilan teknis yang tinggi [28]. Oleh karena itu, menggabungkan pelacakan mata dengan alat diagnostik lainnya sangat penting untuk meningkatkan efektivitasnya dalam memahami skizofrenia.

2.5 Tantangan dan Pertimbangan

Meskipun eye tracking menawarkan potensi besar dalam penilaian skizofrenia, tantangan yang harus dihadapi meliputi:

1. Variabilitas Gejala: Gejala skizofrenia dapat sangat bervariasi antar individu, mempengaruhi hasil analisis gerakan mata [29].
2. Kenyamanan Pasien: Penggunaan perangkat eye tracking harus mempertimbangkan kenyamanan dan keterlibatan pasien [30].
3. Integrasi dengan Praktik Klinis: Mengintegrasikan teknologi ini ke dalam praktik klinis memerlukan validasi lebih lanjut dan pengembangan protokol standar [31].

Metode ini memberikan dasar bagi evaluasi lebih lanjut mengenai efektivitas eye tracking dalam penelitian skizofrenia, serta potensi penggunaannya dalam diagnosis dan penilaian klinis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Temuan Umum dari Studi tentang Eye Tracking pada Skizofrenia

Penelitian mengenai teknologi pelacakan mata dalam menilai skizofrenia mengungkapkan perbedaan signifikan dalam pola gerakan mata antara pasien skizofrenia dan pasien yang sehat, dengan memberikan wawasan mendalam tentang gangguan kognitif dan emosional. Temuan utama pada penelitian ini menunjukkan bahwa pasien skizofrenia sering kali menunjukkan fiksasi mata yang tidak teratur, dengan durasi dan titik fokus yang seringkali tidak konsisten dengan konteks visual, yang mengindikasikan kesulitan dalam memproses informasi visual. Selain itu, gerakan mata yang tidak teratur pada pasien menunjukkan masalah dalam pembagian perhatian, mencerminkan adanya gangguan pada mekanisme dasar pemrosesan visual dan kognitif [32][33]. Pengukuran pelacakan mata, seperti pola tatapan dan fiksasi, memberikan informasi penting tentang fungsi kognitif dan kondisi emosional, yang sangat membantu dalam memahami skizofrenia. Menggabungkan teknologi ini dengan metode lainnya bisa meningkatkan kemampuan kita dalam mendeteksi masalah emosional dan kognitif, serta berpotensi menghasilkan alat diagnostik yang lebih efektif. Namun, meskipun pelacakan mata menawarkan banyak manfaat, kita harus memperhatikan keterbatasan dan perbedaan respons antara individu, karena tidak semua pasien menunjukkan pola gerakan mata yang sama. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan pendekatan penilaian yang disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing pasien [33].

3.2 Integrasi Eye Tracking dengan Teknik Pembelajaran Mesin

Integrasi data eye tracking dengan teknik pembelajaran mesin, khususnya *eXtreme Gradient Boosting* (XGB) dan *Support Vector Machine* (SVM), telah secara signifikan meningkatkan akurasi diagnostik untuk skizofrenia. Algoritma XGB, yang menggabungkan data eye tracking dengan sinyal *elektroensefalografi* (EEG), berhasil mencapai akurasi klasifikasi hingga 94%, menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan ketepatan diagnosis [34]. Sementara itu, SVM telah menunjukkan kemampuan yang kuat dalam membedakan pola pergerakan mata antara pasien skizofrenia dengan pasien yang sehat, dengan memberikan wawasan kritis tentang fungsi kognitif yang terganggu [35][36]. Penggunaan model-model ini tidak hanya meningkatkan akurasi dalam mengidentifikasi pola pergerakan mata, tetapi juga membantu menemukan tanda-tanda biologis yang dapat mendukung intervensi yang tepat waktu dalam praktik klinis [37]. Meskipun kemajuan penelitian ini menjanjikan, masih terdapat tantangan dalam menerapkan teknik-teknik ini untuk aplikasi klinis yang lebih luas dan memerlukan penelitian lebih lanjut untuk menyempurnakan dan memvalidasi model-model penelitian ini dalam populasi yang beragam.

3.3 Tantangan dalam Penerapan Klinis

Meskipun teknologi eye tracking menawarkan wawasan signifikan, ada beberapa tantangan yang harus diatasi untuk penerapan klinis yang lebih luas:

1. **Variabilitas Gejala:** Gejala skizofrenia yang bervariasi antar individu dapat mempengaruhi hasil analisis gerakan mata. Variabilitas ini dapat mempengaruhi konsistensi dan interpretasi data pelacakan mata dalam konteks klinis [29].



2. **Kenyamanan Pasien:** Penggunaan perangkat eye tracking harus memperhatikan kenyamanan dan keterlibatan pasien. Beberapa pasien mungkin merasa tidak nyaman dengan perangkat ini, yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran [30].
3. **Integrasi dengan Praktik Klinis:** Untuk mengintegrasikan teknologi ini ke dalam praktik klinis, diperlukan validasi lebih lanjut dan pengembangan protokol standar. Proses ini penting untuk memastikan bahwa teknologi eye tracking dapat diterapkan secara efektif dan konsisten dalam setting klinis [31].

3.4 Implikasi dan Potensi Pengembangan

Secara keseluruhan, hasil tinjauan ini menunjukkan bahwa teknologi eye tracking memiliki potensi besar dalam mendiagnosis dan memahami skizofrenia. Kemajuan dalam teknik pelacakan mata dan algoritma pembelajaran mesin memberikan dasar untuk pengembangan metode diagnostik yang lebih objektif. Penelitian selanjutnya harus berfokus pada penyempurnaan teknologi ini, mengatasi tantangan yang ada, dan mengeksplorasi aplikasi klinis yang lebih luas.

4. KESIMPULAN

Penelitian Teknologi eye tracking ini memberikan wawasan untuk meningkatkan pemahaman dan diagnosis skizofrenia dengan melihat pola gerakan mata yang berbeda antara pasien skizofrenia dengan pasien yang sehat. Pola-pola ini, seperti titik fokus yang tidak teratur dan pergerakan mata yang tidak konsisten, mengindikasikan adanya gangguan dalam pemrosesan informasi visual dan pembagian perhatian, memberikan wawasan kritis tentang gangguan kognitif dan emosional yang terkait dengan skizofrenia [38][39]. Sebuah studi besar yang melibatkan 336 pasien dan 1254 kontrol sehat menyoroti perbedaan signifikan ini, menekankan potensi pelacakan mata dalam konteks klinis [40]. Parameter seperti durasi tatapan, stabilitas titik fokus, dan konsistensi gerakan mata cepat sangat penting untuk memahami fungsi kognitif dan kondisi emosional pada skizofrenia [41]. Kemajuan terbaru dalam teknologi pelacakan mata, seperti pengembangan antarmuka fleksibel berbasis sensor yang canggih, telah meningkatkan akurasi dan penerapan analisis gerakan mata dalam diagnosis klinis [39]. Penggunaan teknik pembelajaran mesin, seperti metode analisis EEG otomatis yang unggul, dapat lebih meningkatkan akurasi diagnosis [38]. Meskipun pelacakan mata memberikan wawasan yang signifikan, penelitian ini nantinya harus mempertimbangkan konteks yang lebih luas dari intervensi berbasis teknologi dalam penanganan gangguan mental, termasuk pelatihan dan terapi kognitif, yang terbukti efektif dalam memperbaiki hasil neurokognitif. Oleh karena itu, pendekatan yang menyeluruh mungkin diperlukan untuk mencapai perawatan pasien yang optimal [42].

Penggunaan teknologi eye tracking dengan teknik pembelajaran mesin, seperti *eXtreme Gradient Boosting* (XGB) dan *Support Vector Machine* (SVM), menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akurasi diagnosis skizofrenia. Kombinasi data eye tracking dengan sinyal *elektroensefalografi* (EEG) telah mencapai akurasi klasifikasi hingga 94%, menyoroti potensi besar teknologi ini dalam meningkatkan ketepatan diagnosis [43][44]. Teknik pembelajaran mesin, termasuk SVM, telah digunakan secara efektif untuk mengklasifikasikan pola data yang kompleks, yang sangat penting untuk diagnosis yang akurat [43]. Namun, tantangan signifikan tetap ada dalam penerapan klinis, seperti variabilitas gejala antar individu yang mempersulit standarisasi protokol diagnosis, serta kebutuhan untuk memastikan kenyamanan pasien selama penilaian agar kualitas data tidak terpengaruh [44][45]. Selain itu, pengembangan protokol standar sangat penting untuk konsistensi dan keandalan hasil di berbagai pengaturan klinis [46]. Meskipun integrasi ini sangat menjanjikan, mengatasi tantangan tersebut merupakan langkah kunci untuk keberhasilan implementasi teknologi ini dalam praktik klinis.

Teknologi eye tracking menunjukkan potensi besar untuk merevolusi pendekatan diagnosis dan perawatan dalam kesehatan mental, terutama untuk skizofrenia. Dengan mengukur keadaan kognitif dan emosional secara objektif, teknologi ini dapat memperdalam pemahaman tentang gangguan dan meningkatkan efektivitas pengobatan. Memahami pelacakan mata, seperti pola tatapan dan variasi ukuran pupil, memberikan wawasan tentang proses kognitif dan emosional pada individu dengan skizofrenia [47]. Integrasi dengan teknik pembelajaran mesin dapat meningkatkan akurasi penilaian dan membuka jalan bagi alat diagnosis yang lebih modern [47]. Kemajuan dalam sistem pelacakan mata non-intrusif, yang menggunakan webcam standar dan algoritma penyalarsan wajah, menjadikannya lebih mudah diakses dan mengurangi beban pada pasien, dengan aplikasi efektif dalam berbagai lingkungan klinis [48]. Selain itu, kombinasi pelacakan mata dengan *virtual reality* (VR) menunjukkan potensi untuk terapi inovatif, seperti memodifikasi bias perhatian pada gangguan lain, yang mungkin juga bermanfaat untuk pengobatan skizofrenia [49]. Meskipun teknologi ini menawarkan peluang menarik, tantangan dalam integrasinya ke praktik klinis tetap ada, dan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menyempurnakan teknologi ini serta memastikan penerapannya yang efektif dalam konteks terapeutik yang beragam.

REFERENCES

- [1] M. Sasseville *et al.*, "The impact of technology systems and level of support in digital mental health interventions: a secondary meta-analysis," *Syst Rev*, vol. 12, no. 1, p. 78, May 2023, doi: 10.1186/s13643-023-02241-1.



- [2] L. Kremer, M. Lipprandt, R. Röhrig, and B. Breil, "Examining Mental Workload Relating to Digital Health Technologies in Health Care: Systematic Review," *J Med Internet Res*, vol. 24, no. 10, p. e40946, Oct. 2022, doi: 10.2196/40946.
- [3] G. Ramshaw, A. McKeown, R. Lee, A. Conlon, D. Brown, and P. J. Kennedy, "Introduction of Technology to Support Young People's Care and Mental Health—A Rapid Evidence Review," *Child Youth Care Forum*, vol. 52, no. 3, pp. 509–531, Jun. 2023, doi: 10.1007/s10566-022-09700-1.
- [4] F. R. Iaconis, M. A. Trujillo Jiménez, G. Gasaneo, O. A. Rosso, and C. A. Delrieux, "Ordinal pattern transition networks in eye tracking reading signals," *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, vol. 33, no. 5, May 2023, doi: 10.1063/5.0142230.
- [5] M.-C. Sáiz-Manzanares, R. Marticorena-Sánchez, L.-J. Martín-Antón, L. Almeida, and M.-Á. Carbonero-Martín, "Application and challenges of eye tracking technology in Higher Education," *Comunicar*, vol. 31, no. 76, Jul. 2023, doi: 10.3916/C76-2023-03.
- [6] Y. Shi *et al.*, "Eye tracking and eye expression decoding based on transparent, flexible and ultra-persistent electrostatic interface," *Nat Commun*, vol. 14, no. 1, p. 3315, Jun. 2023, doi: 10.1038/s41467-023-39068-2.
- [7] K. P. Kruzan, A. Ng, C. Stiles-Shields, E. G. Lattie, D. C. Mohr, and M. Reddy, "The Perceived Utility of Smartphone and Wearable Sensor Data in Digital Self-tracking Technologies for Mental Health," in *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, Apr. 2023, pp. 1–16. doi: 10.1145/3544548.3581209.
- [8] L. Orsolini, S. Pompili, and U. Volpe, "Schizophrenia: A Narrative Review of Etiopathogenetic, Diagnostic and Treatment Aspects," *J Clin Med*, vol. 11, no. 17, p. 5040, Aug. 2022, doi: 10.3390/jcm11175040.
- [9] J. Lieberman, "A Once Malignant Malady: the Story of Schizophrenia and the Path to Prevention," *European Psychiatry*, vol. 65, no. S1, pp. S4–S4, Jun. 2022, doi: 10.1192/j.eurpsy.2022.39.
- [10] R. A. McCutcheon, R. S. E. Keefe, and P. K. McGuire, "Cognitive impairment in schizophrenia: aetiology, pathophysiology, and treatment," *Mol Psychiatry*, vol. 28, no. 5, pp. 1902–1918, May 2023, doi: 10.1038/s41380-023-01949-9.
- [11] A. L. Martínez, J. Brea, S. Rico, M. T. de los Frailes, and M. I. Loza, "Cognitive Deficit in Schizophrenia: From Etiology to Novel Treatments," *Int J Mol Sci*, vol. 22, no. 18, p. 9905, Sep. 2021, doi: 10.3390/ijms22189905.
- [12] V. Skaramagkas *et al.*, "Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 16, pp. 260–277, 2023, doi: 10.1109/RBME.2021.3066072.
- [13] A. A. Chrobak *et al.*, "Vergence eye movements impairments in schizophrenia and bipolar disorder," *J Psychiatr Res*, vol. 156, pp. 379–389, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.jpsychires.2022.10.042.
- [14] C. Soria, Y. Arroyo, A. M. Torres, M. Á. Redondo, C. Basar, and J. Mateo, "Method for Classifying Schizophrenia Patients Based on Machine Learning," *J Clin Med*, vol. 12, no. 13, p. 4375, Jun. 2023, doi: 10.3390/jcm12134375.
- [15] S. Verma, T. Goel, M. Tanveer, W. Ding, R. Sharma, and R. Murugan, "Machine learning techniques for the Schizophrenia diagnosis: a comprehensive review and future research directions," *J Ambient Intell Humaniz Comput*, vol. 14, no. 5, pp. 4795–4807, May 2023, doi: 10.1007/s12652-023-04536-6.
- [16] B. Noyes, A. Biorac, G. Vazquez, S. Khalid-Khan, D. Munoz, and L. Booij, "Eye-tracking in adult depression: protocol for a systematic review and meta-analysis," *BMJ Open*, vol. 13, no. 6, p. e069256, Jun. 2023, doi: 10.1136/bmjopen-2022-069256.
- [17] B. Birawo and P. Kasprowski, "Review and Evaluation of Eye Movement Event Detection Algorithms," *Sensors*, vol. 22, no. 22, p. 8810, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22228810.
- [18] V. Skaramagkas *et al.*, "Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 16, pp. 260–277, 2023, doi: 10.1109/RBME.2021.3066072.
- [19] R. E. Edison, Y. H. Anisa, and F. R. Fauzy, "ANALISIS ATENSI VISUAL PEROKOK DAN NON PEROKOK BERBASIS HUMAN EYE TRACKER TERHADAP GAMBAR PERINGATAN KESEHATAN PADA BUNGKUS ROKOK," 2021, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.24893/jkma.v15i2.656>
- [20] J. Arizpe, D. J. Kravitz, G. Yovel, and C. I. Baker, "Start Position Strongly Influences Fixation Patterns during Face Processing: Difficulties with Eye Movements as a Measure of Information Use," *PLoS One*, vol. 7, no. 2, p. e31106, Feb. 2012, doi: 10.1371/journal.pone.0031106.
- [21] J. Hautala and T. Parviainen, "Gaze Position Reveals Impaired Attentional Shift during Visual Word Recognition in Dysfluent Readers," *PLoS One*, vol. 9, no. 9, p. e108937, Sep. 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0108937.
- [22] Yanto and R. F. Salim, "Evaluasi Tingkat Usability Situs Belanja Online X Menggunakan Tobii-Eye Tracker dan Face Reader," *Jurnal METRIS*, vol. 22, no. 02, pp. 131–136, 2022, doi: 10.25170/metriss.v22i02.2968.
- [23] C. Soria, Y. Arroyo, A. M. Torres, M. Á. Redondo, C. Basar, and J. Mateo, "Method for Classifying Schizophrenia Patients Based on Machine Learning," *J Clin Med*, vol. 12, no. 13, p. 4375, Jun. 2023, doi: 10.3390/jcm12134375.
- [24] M. Nilashi *et al.*, "Electroencephalography (EEG) eye state classification using learning vector quantization and bagged trees," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, p. e15258, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15258.
- [25] K. Okazaki *et al.*, "Discrimination in the clinical diagnosis between patients with schizophrenia and healthy controls using eye movement and cognitive functions," *Psychiatry Clin Neurosci*, vol. 77, no. 7, pp. 393–400, Jul. 2023, doi: 10.1111/pcn.13553.
- [26] V. Skaramagkas *et al.*, "Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 16, pp. 260–277, 2023, doi: 10.1109/RBME.2021.3066072.
- [27] Y.-L. Chien *et al.*, "Game-Based Social Interaction Platform for Cognitive Assessment of Autism Using Eye Tracking," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, pp. 749–758, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2022.3232369.
- [28] M.-C. Sáiz-Manzanares, R. Marticorena-Sánchez, L.-J. Martín-Antón, L. Almeida, and M.-Á. Carbonero-Martín, "Application and challenges of eye tracking technology in Higher Education," *Comunicar*, vol. 31, no. 76, Jul. 2023, doi: 10.3916/C76-2023-03.
- [29] R. A. McCutcheon *et al.*, "Reappraising the variability of effects of antipsychotic medication in schizophrenia: a meta-analysis," *World Psychiatry*, vol. 21, no. 2, pp. 287–294, Jun. 2022, doi: 10.1002/wps.20977.



- [30] S. Lorente, J. Losilla, and J. Vives, "Instruments to assess patient comfort during hospitalization: A psychometric review," *J Adv Nurs*, vol. 74, no. 5, pp. 1001–1015, May 2018, doi: 10.1111/jan.13495.
- [31] M. Gouda *et al.*, "Towards clinical implementation: Establishing standardized operating procedures to limit the pre-analytical sample handling effects on the novel Alzheimer's disease blood-based biomarkers," *Alzheimer's & Dementia*, vol. 19, no. S2, Jun. 2023, doi: 10.1002/alz.066756.
- [32] K. Okazaki *et al.*, "Discrimination in the clinical diagnosis between patients with schizophrenia and healthy controls using eye movement and cognitive functions," *Psychiatry Clin Neurosci*, vol. 77, no. 7, pp. 393–400, Jul. 2023, doi: 10.1111/pcn.13553.
- [33] V. Skaramagkas *et al.*, "Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 16, pp. 260–277, 2023, doi: 10.1109/RBME.2021.3066072.
- [34] H. Polat, "Brain functional connectivity based on phase lag index of electroencephalography for automated diagnosis of schizophrenia using residual neural networks," *J Appl Clin Med Phys*, vol. 24, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1002/acm2.14039.
- [35] K. Okazaki *et al.*, "Discrimination in the clinical diagnosis between patients with schizophrenia and healthy controls using eye movement and cognitive functions," *Psychiatry Clin Neurosci*, vol. 77, no. 7, pp. 393–400, Jul. 2023, doi: 10.1111/pcn.13553.
- [36] M. Nilashi *et al.*, "Electroencephalography (EEG) eye state classification using learning vector quantization and bagged trees," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, p. e15258, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15258.
- [37] M. Tanveer, J. Jangir, M. A. Ganaie, I. Beheshti, M. Tabish, and N. Chhabra, "Diagnosis of Schizophrenia: A Comprehensive Evaluation," *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 27, no. 3, pp. 1185–1192, Mar. 2023, doi: 10.1109/JBHI.2022.3168357.
- [38] C. Soria, Y. Arroyo, A. M. Torres, M. A. Redondo, C. Basar, and J. Mateo, "Method for Classifying Schizophrenia Patients Based on Machine Learning," *J Clin Med*, vol. 12, no. 13, p. 4375, Jun. 2023, doi: 10.3390/jcm12134375.
- [39] Y. Shi *et al.*, "Eye tracking and eye expression decoding based on transparent, flexible and ultra-persistent electrostatic interface," *Nat Commun*, vol. 14, no. 1, p. 3315, Jun. 2023, doi: 10.1038/s41467-023-39068-2.
- [40] K. Okazaki *et al.*, "Discrimination in the clinical diagnosis between patients with schizophrenia and healthy controls using eye movement and cognitive functions," *Psychiatry Clin Neurosci*, vol. 77, no. 7, pp. 393–400, Jul. 2023, doi: 10.1111/pcn.13553.
- [41] V. Skaramagkas *et al.*, "Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 16, pp. 260–277, 2023, doi: 10.1109/RBME.2021.3066072.
- [42] C. Morales-Pillado, B. Fernández-Castilla, T. Sánchez-Gutiérrez, E. González-Fraile, S. Barbeito, and A. Calvo, "Efficacy of technology-based interventions in psychosis: a systematic review and network meta-analysis," *Psychol Med*, vol. 53, no. 13, pp. 6304–6315, Oct. 2023, doi: 10.1017/S0033291722003610.
- [43] A. Serrano-Mamolar, I. Miguel-Alonso, D. Checa, and C. Pardo-Aguilar, "Towards learner performance evaluation in iVR learning environments using eye-tracking and Machine-learning," *Comunicar*, vol. 31, no. 76, Jul. 2023, doi: 10.3916/C76-2023-01.
- [44] M. Nilashi *et al.*, "Electroencephalography (EEG) eye state classification using learning vector quantization and bagged trees," *Heliyon*, vol. 9, no. 4, p. e15258, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15258.
- [45] M. Squires *et al.*, "Deep learning and machine learning in psychiatry: a survey of current progress in depression detection, diagnosis and treatment," *Brain Inform*, vol. 10, no. 1, p. 10, Dec. 2023, doi: 10.1186/s40708-023-00188-6.
- [46] Y. Shi *et al.*, "Eye tracking and eye expression decoding based on transparent, flexible and ultra-persistent electrostatic interface," *Nat Commun*, vol. 14, no. 1, p. 3315, Jun. 2023, doi: 10.1038/s41467-023-39068-2.
- [47] V. Skaramagkas *et al.*, "Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes," *IEEE Rev Biomed Eng*, vol. 16, pp. 260–277, 2023, doi: 10.1109/RBME.2021.3066072.
- [48] C. Leblond-Menard and S. Achiche, "Non-Intrusive Real Time Eye Tracking Using Facial Alignment for Assistive Technologies," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 31, pp. 954–961, 2023, doi: 10.1109/TNSRE.2023.3236886.
- [49] F.-A. Meschberger-Annweiler *et al.*, "An Attentional Bias Modification Task, through Virtual Reality and Eye-Tracking Technologies, to Enhance the Treatment of Anorexia Nervosa," *J Clin Med*, vol. 12, no. 6, p. 2185, Mar. 2023, doi: 10.3390/jcm12062185.