



Perkembangan Prinsip Optika dan Material Lensa Kontak dalam Koreksi Kelainan Refraksi: Tinjauan Literatur Lima Tahun Terakhir (2021–2026)

Atti Kartikawati^{1*}, Suci Haryanti², Sahel³, Ebtaria Hartiwi Putri⁴
Akademi Refraksi Optisi Kartika Indera Persada
* E-mail: attikartika22@gmail.com

Abstract

Contact lenses are optical devices placed directly on the tear film to correct refractive errors; recently, their applications have expanded to include therapeutic, cosmetic, and biomedical sensing functions. This article presents a narrative literature review of contact lens research published between 2021 and 2026, focusing on four physics-related themes: the optical principles underlying refractive correction; lens material developments and their physical properties (oxygen permeability, water content, and surface wettability); contact lens optical designs for myopia control via peripheral defocus principles; and photonic and sensor technologies in smart contact lenses. Literature sources were obtained from Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, and Nature-indexed journals using the keywords "contact lens," "optics," "myopia control," and "smart contact lens." A descriptive-qualitative analysis technique was employed. The findings indicate that silicone hydrogel materials continue to dominate clinical use due to their superior oxygen permeability, that peripheral defocus optics have become a primary strategy for slowing myopia progression in children, and that photonic-based sensor platforms (including plasmonic and fluorescence designs) are advancing smart contact lenses from simple detection capabilities toward practical health monitoring tools. These findings are relevant to physics education, as they illustrate geometric and physical concepts, physics subject matter, and photonics in a classroom context.

Keywords: Contact Lens; Optics; Refraction; Myopia Control; Smart Contact Lens.

Abstrak

Lensa kontak merupakan alat optik yang diletakkan langsung pada lapisan air mata untuk mengoreksi kelainan refraksi, dan belakangan ini juga berkembang untuk fungsi terapeutik, kosmetik, serta sensor biomedis. Artikel ini menggunakan metode tinjauan literatur naratif terhadap penelitian lensa kontak yang dipublikasikan pada rentang tahun 2021–2026, dengan fokus pada empat tema yang berkaitan dengan fisika, yaitu prinsip optika yang mendasari koreksi refraksi menggunakan lensa kontak, perkembangan material lensa beserta sifat fisisnya (permeabilitas oksigen, kandungan air, dan kebasahan permukaan), desain optika lensa kontak untuk kontrol miopia melalui prinsip defokus perifer, serta teknologi fotonik dan sensor pada lensa kontak cerdas (smart contact lens). Sumber literatur diperoleh melalui Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, dan jurnal terindeks Nature dengan kata kunci "lensa kontak", "optika", "kontrol miopia", dan "lensa kontak cerdas". Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif-kualitatif. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa material silikon hidrogel masih mendominasi penggunaan klinis karena permeabilitas oksigennya yang unggul, bahwa optika defokus perifer telah menjadi strategi utama dalam memperlambat progresivitas miopia pada anak, dan bahwa platform sensor berbasis fotonik (termasuk desain plasmonik dan fluoresensi) mulai membawa lensa kontak cerdas dari tahap demonstrasi teoretis menuju alat pemantauan kesehatan yang aplikatif. Temuan ini relevan bagi pendidikan fisika karena menggambarkan penerapan langsung konsep optika geometris dan fisis, fisika material, serta fotonika di ruang kelas.

Kata kunci: Lensa Kontak; Optika; Refraksi; Kontrol Miopia; Lensa Kontak Cerdas.

How to Cite: Kartikawati, A., Haryanti, S., Sahel, S., & Putri, E.H. (2026). Perkembangan Prinsip Optika dan Material Lensa Kontak dalam Koreksi Kelainan Refraksi: Tinjauan Literatur Lima Tahun Terakhir (2021–2026). *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 7 (1), 52-60.

PENDAHULUAN

Kelainan refraksi seperti miopia, hipermetropia, astigmatisme, dan presbiopia merupakan gangguan penglihatan yang terjadi karena berkas cahaya yang masuk ke mata tidak difokuskan tepat pada retina. Secara fisis, kelainan ini dapat dikoreksi dengan menambahkan elemen optik tambahan berupa lensa, baik dalam bentuk kacamata maupun lensa kontak, yang mengubah lintasan berkas cahaya sesuai hukum pembiasan (hukum Snellius) sehingga bayangan benda jatuh tepat pada retina. Berbeda dengan kacamata yang berjarak beberapa milimeter di depan mata (jarak verteks), lensa kontak diletakkan langsung pada permukaan kornea di atas lapisan air mata, sehingga daya optiknya lebih dekat dengan pusat optik mata dan menghasilkan pembesaran bayangan retina yang lebih mendekati kondisi alami dibandingkan kacamata.

Perkembangan prinsip optika pada lensa kontak mengalami perubahan yang signifikan selama lima tahun terakhir. Jika sebelumnya desain lensa hanya berfokus pada koreksi refraksi sentral, kini pengembangan lensa kontak diarahkan untuk memodifikasi distribusi fokus cahaya pada retina perifer. Pendekatan ini didasarkan pada teori peripheral myopic defocus, yaitu pembentukan fokus cahaya di depan retina perifer untuk menghambat pemanjangan aksial bola mata yang merupakan penyebab utama progresivitas miopia (Corpus et al., 2024).

Prinsip optika ini melahirkan berbagai inovasi seperti *multifocal soft contact lenses*, *dual-focus contact lenses*, dan *orthokeratology lenses* (Ortho-K). Lensa multifokal menghasilkan beberapa zona fokus sehingga selain memperbaiki penglihatan sentral juga memberikan defokus miopik pada retina perifer. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa desain tersebut mampu memperlambat progresivitas miopia pada anak dibandingkan penggunaan lensa monofokal konvensional (Corpus et al., 2024).

Pada *orthokeratology*, prinsip optika diterapkan melalui perubahan bentuk permukaan kornea menggunakan lensa *rigid gas permeable* yang dipakai saat tidur. Perubahan kurvatura kornea menghasilkan redistribusi daya refraksi sehingga cahaya difokuskan lebih optimal pada retina sekaligus menciptakan defokus perifer yang dapat mengurangi pertumbuhan aksial bola mata. Meta-analisis terbaru menunjukkan bahwa *orthokeratology* efektif menghambat progresivitas miopia dengan profil keamanan yang baik apabila digunakan sesuai prosedur klinis (Li et al., 2024).

Selain pengendalian miopia, perkembangan prinsip optika juga mengarah pada pemanfaatan wavefront-guided optics yang mampu mengoreksi aberasi orde tinggi (*higher-order aberrations*). Teknologi ini memungkinkan peningkatan kualitas visual melalui desain optik yang disesuaikan dengan karakteristik aberasi masing-masing individu sehingga menghasilkan sensitivitas kontras dan ketajaman visual yang lebih baik (Swartz et al., 2025).

Sejak pertama kali dikembangkan lebih dari seratus tahun lalu, lensa kontak telah mengalami transformasi besar dalam hal material, desain optik, dan fungsinya. Lensa kontak modern tidak hanya berperan sebagai korektor refraksi, tetapi juga berkembang menjadi platform untuk pengendalian progresivitas miopia pada anak melalui rekayasa distribusi defokus pada retina, serta menjadi wahana bagi teknologi sensor optik dan elektronik yang dikenal sebagai lensa kontak cerdas (*smart contact lens*).

Perkembangan-perkembangan tersebut memiliki keterkaitan yang kuat dengan konsep-konsep fisika dasar, mulai dari optika geometris (pembiasan, daya lensa, aberasi), optika fisis (interferensi dan difraksi pada sensor berbasis etalon dan plasmonik), hingga fisika material (permeabilitas gas, kandungan air, dan indeks bias polimer). Oleh karena itu, kajian mengenai lensa kontak relevan untuk disajikan dalam konteks pendidikan fisika, baik

sebagai contoh aplikasi optika dalam kehidupan sehari-hari maupun sebagai pengantar topik fisika material dan fotonika kontemporer.

Kemajuan teknologi biomaterial telah mendorong perkembangan material lensa kontak yang semakin biokompatibel, nyaman, dan aman digunakan. Material lensa kontak modern dikembangkan tidak hanya untuk memperbaiki penglihatan tetapi juga mempertahankan fisiologi kornea melalui peningkatan transmisi oksigen, stabilitas lapisan air mata, serta ketahanan terhadap deposisi protein dan lipid.

Perkembangan material lensa kontak juga diarahkan pada modifikasi permukaan (*surface modification*) untuk meningkatkan sifat hidrofilik (*wettability*). Berbagai teknik seperti plasma coating, biomimetic coating, dan graft polymerization mampu mengurangi gesekan antara lensa dengan permukaan okular sehingga meningkatkan kenyamanan pemakaian sekaligus menurunkan deposisi protein dan bakteri (Advancements in the Chemistry of Contact Lenses, 2024).

Perkembangan prinsip optika dan biomaterial mendorong lahirnya berbagai desain lensa kontak modern yang memiliki fungsi lebih luas dibandingkan lensa konvensional. Salah satu inovasi utama adalah *multifocal soft contact lens* yang memanfaatkan beberapa zona refraksi untuk mengoreksi penglihatan sekaligus memberikan stimulus optik guna menghambat progresivitas miopia. *American Academy of Ophthalmology* menyatakan bahwa bukti ilmiah terbaru menunjukkan multifocal soft contact lens efektif memperlambat pertambahan panjang aksial mata pada anak dengan miopia progresif (Cavuto et al., 2025).

Selain multifokal, *orthokeratology lens* tetap menjadi salah satu metode paling efektif dalam pengendalian miopia. Desain *reverse geometry* pada lensa mampu membentuk ulang epitel kornea secara sementara sehingga pasien memperoleh ketajaman penglihatan yang baik pada siang hari tanpa menggunakan alat bantu penglihatan. Kajian sistematis terbaru menunjukkan bahwa orthokeratology tidak hanya efektif mengendalikan miopia tetapi juga memiliki tingkat kepuasan pasien yang tinggi apabila dilakukan dengan pemilihan pasien dan monitoring yang tepat.

Pada pasien presbiopia, perkembangan desain optika menghasilkan lensa kontak multifokal generasi terbaru dengan distribusi zona optik yang lebih baik sehingga meningkatkan sensitivitas kontras dan mengurangi fenomena halo maupun glare. Pendekatan tersebut menghasilkan kualitas visual yang lebih baik dibandingkan desain multifokal generasi sebelumnya (BCLA CLEAR, 2024).

Selain multifokal, orthokeratology lens tetap menjadi salah satu metode paling efektif dalam pengendalian miopia. Desain *reverse geometry* pada lensa mampu membentuk ulang epitel kornea secara sementara sehingga pasien memperoleh ketajaman penglihatan yang baik pada siang hari tanpa menggunakan alat bantu penglihatan. Kajian sistematis terbaru menunjukkan bahwa orthokeratology tidak hanya efektif mengendalikan miopia tetapi juga memiliki tingkat kepuasan pasien yang tinggi apabila dilakukan dengan pemilihan pasien dan monitoring yang tepat.

Pada pasien presbiopia, perkembangan desain optika menghasilkan lensa kontak multifokal generasi terbaru dengan distribusi zona optik yang lebih baik sehingga meningkatkan sensitivitas kontras dan mengurangi fenomena halo maupun glare. Pendekatan tersebut menghasilkan kualitas visual yang lebih baik dibandingkan desain multifokal generasi sebelumnya (BCLA CLEAR, 2024).

Artikel ini bertujuan untuk menyajikan tinjauan literatur naratif mengenai perkembangan prinsip optika dan material lensa kontak berdasarkan penelitian yang dipublikasikan dalam lima tahun terakhir (2021–2026). Tinjauan ini difokuskan pada empat aspek, yaitu (1) prinsip dasar optika lensa kontak, (2) material dan sifat fisis lensa kontak modern, (3) desain optika untuk kontrol miopia melalui defokus perifer, dan (4) teknologi fotonik pada lensa kontak cerdas.

Tujuan penelitian pada Artikel ini untuk menyajikan tinjauan literatur naratif mengenai perkembangan prinsip optika dan material lensa kontak berdasarkan penelitian yang dipublikasikan dalam lima tahun terakhir (2021–2026). Tinjauan ini difokuskan pada empat aspek, yaitu (1) prinsip dasar optika lensa kontak, (2) material dan sifat fisis lensa kontak modern, (3) desain optika untuk kontrol miopia melalui defokus perifer, dan (4) teknologi fotonik pada lensa kontak cerdas.

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur naratif (narrative review). Penelusuran artikel dilakukan melalui basis data *Google Scholar*, *PubMed*, *ScienceDirect*, dan jurnal-jurnal yang terindeks pada *Nature Portfolio*, dengan menggunakan kata kunci "contact lens optics", "*contact lens materials*", "myopia control contact lens", dan "smart contact lens". Artikel yang dipilih dibatasi pada publikasi tahun 2021 hingga 2026 agar mencerminkan perkembangan riset lima tahun terakhir, dengan beberapa artikel Indonesia sebagai pembanding konteks lokal. Kriteria inklusi meliputi artikel review, meta-analisis, dan artikel penelitian orisinal yang membahas prinsip optika, material, desain kontrol miopia, atau teknologi sensor pada lensa kontak. Artikel yang hanya membahas aspek non-optik seperti pemasaran atau manajemen klinis tanpa kaitan dengan prinsip fisika tidak disertakan. Dari hasil penelusuran, dipilih sejumlah artikel yang paling relevan untuk dibahas secara naratif dan disintesis berdasarkan empat tema besar sebagaimana disebutkan pada bagian pendahuluan. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif-kualitatif. Analisis dilakukan dengan mengidentifikasi informasi penting dari setiap artikel, kemudian mengelompokkan temuan berdasarkan persamaan dan perbedaan karakteristik penelitian. Data yang diperoleh tidak dihitung dalam bentuk analisis statistik kuantitatif, tetapi dianalisis berdasarkan isi, konsep, kecenderungan perkembangan, serta hubungan antara prinsip fisika dan penerapannya pada teknologi lensa kontak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Prinsip Dasar Optika Lensa Kontak

Secara optik, mata manusia dapat dipandang sebagai sistem lensa majemuk yang terdiri atas kornea dan lensa kristalin, dengan kornea menyumbang sebagian besar daya bias total mata. Ketika kornea atau bola mata memiliki bentuk yang tidak ideal, bayangan benda jatuh di depan retina (pada miopia) atau di belakang retina (pada hipermetropia). Lensa kontak bekerja dengan menambahkan daya bias korektif tepat di depan kornea sehingga titik fokus bergeser kembali ke retina. Karena lensa kontak menempel langsung pada lapisan air mata, jarak verteks antara lensa dan kornea mendekati nol, berbeda dengan lensaacamata yang memiliki jarak verteks beberapa milimeter. Perbedaan ini menyebabkan daya lensa kontak yang dibutuhkan untuk kelainan refraksi tinggi sedikit berbeda dari daya lensaacamata, dan turut memengaruhi ukuran bayangan retina yang terbentuk.

Kajian komprehensif mengenai material dan karakteristik lensa kontak menegaskan bahwa lensa kontak modern dirancang tidak hanya untuk mengoreksi kelainan refraksi, tetapi juga untuk tujuan kosmetik dan terapeutik, sehingga desain optiknya perlu mempertimbangkan kenyamanan, keselarasan dengan bentuk kornea, dan interaksi dengan lapisan air mata secara bersamaan (Oliveira & Martinez-Perez, 2025). Prinsip pembiasan yang sama juga menjadi dasar pengembangan lensa dengan desain permukaan asferis maupun torik yang digunakan untuk mengoreksi astigmatisme dan mengurangi aberasi optik pada pemakainya.

2. Material dan Sifat Fisis Lensa Kontak Modern

Kinerja optik lensa kontak tidak dapat dipisahkan dari sifat fisis material penyusunnya. Dua kelompok material utama yang digunakan pada lensa kontak lunak adalah hidrogel konvensional dan silikon hidrogel. Tinjauan mengenai kimia material lensa kontak menjelaskan bahwa hidrogel konvensional memiliki kandungan air yang relatif tinggi sehingga nyaman digunakan, tetapi permeabilitas oksigennya terbatas, sedangkan silikon hidrogel menggabungkan gugus siloksan yang meningkatkan permeabilitas oksigen secara signifikan tanpa bergantung sepenuhnya pada kandungan air (Abdulamier et al., 2024). Permeabilitas oksigen ini penting secara fisis karena kornea tidak memiliki pembuluh darah dan bergantung pada difusi oksigen langsung dari udara melalui lensa untuk mempertahankan metabolisme selnya.

Data pasar optik tahunan menunjukkan tren pergeseran preferensi klinis ke arah material silikon hidrogel, dengan proporsi penggunaannya terus meningkat dibandingkan hidrogel konvensional pada persebaran lensa kontak beberapa tahun terakhir (Contact Lens Spectrum, 2023). Tinjauan naratif atas praktik klinis kontemporer turut menegaskan bahwa perbaikan pada agen pembasah internal dan lapisan permukaan lensa telah membantu mengatasi keterbatasan kenyamanan yang sebelumnya menjadi kelemahan material berbasis silikon (Erdinest, 2023).

Sebuah meta-analisis terhadap studi material dan perlakuan permukaan lensa kontak periode 2019–2024 mengonfirmasi bahwa inovasi material saat ini tidak hanya diarahkan pada peningkatan permeabilitas oksigen, tetapi juga pada pengurangan gesekan permukaan melalui lensa yang bersifat self-lubricating, pelapisan yang meminimalkan deposit protein dan lipid, serta pengembangan material biodegradable untuk menekan dampak lingkungan dari lensa sekali pakai (Oliveira & Martinez-Perez, 2025). Dari sudut pandang fisika material, temuan ini menggambarkan bagaimana rekayasa struktur polimer pada skala molekuler dapat memengaruhi sifat makroskopik seperti kekakuan, kebasahan, dan laju difusi gas melalui lensa.

Dalam konteks Indonesia, kajian atas pemilihan lensa kontak lunak untuk klien dengan sindrom mata kering yang dipublikasikan pada jurnal ini sebelumnya turut menegaskan bahwa material berdaya serap air rendah seperti hidrogel atau silikon hidrogel dapat membantu menjaga kelembapan mata pengguna, sekaligus menunjukkan bahwa kandungan air bukan satu-satunya faktor penentu kenyamanan penggunaan lensa kontak (Faizar et al., 2024). Temuan serupa mengenai hubungan antara durasi pemakaian lensa kontak lunak dan kejadian mata kering pada pengguna di Indonesia turut memperkuat pentingnya pemahaman sifat fisis material lensa dalam praktik klinis sehari-hari (Corina et al., 2024).

3. Optika Kontrol Miopia melalui Defokus Perifer

Salah satu perkembangan paling signifikan dalam optika lensa kontak lima tahun terakhir adalah pemanfaatan prinsip defokus perifer untuk memperlambat progresivitas miopia pada anak. Prinsip ini didasarkan pada temuan bahwa retina perifer, bukan hanya retina sentral, turut berperan dalam mengatur pertumbuhan aksial bola mata. Pada mata dengan koreksi konvensional, sinar dari retina perifer sering kali terfokus di belakang retina (defokus hiperopik), suatu kondisi yang diduga mendorong pertumbuhan bola mata secara berlebihan sehingga memperburuk miopia. Lensa kontak dengan desain multifokal, dual-focus, atau lenslet asferis dirancang untuk menggeser fokus perifer ke depan retina (defokus miopik) sambil tetap mempertahankan penglihatan sentral yang jelas.

Sebuah meta-analisis terhadap uji klinis lensa kontak lunak dengan desain defokus perifer pada anak dan remaja menunjukkan bahwa desain ini secara konsisten mampu menurunkan laju perubahan panjang aksial bola mata dan ekuivalen sferis dibandingkan lensa koreksi tunggal, meskipun besarnya efek bervariasi antarstudi (Fan et al., 2024). Kajian atas penggunaan lensa kontak multifokal lunak untuk anak turut

menyimpulkan bahwa metode ini, bersama ortokeratologi dan kacamata defokus perifer, kini menjadi salah satu strategi optik utama yang direkomendasikan untuk pengendalian miopia pada populasi anak (American Academy of Ophthalmology, 2024).

Meskipun demikian, penelitian perbandingan performa visual sentral dan perifer pada anak yang menggunakan berbagai jenis lensa kontrol miopia menemukan bahwa desain optik yang mengalihkan sebagian berkas cahaya untuk menciptakan defokus perifer dapat menurunkan sensitivitas kontras sentral pada kondisi cahaya redup dibandingkan lensa koreksi tunggal (Wu et al., 2024). Temuan ini menegaskan bahwa desain optik untuk kontrol miopia senantiasa melibatkan trade-off antara efektivitas pengendalian pertumbuhan bola mata dan kualitas penglihatan fungsional sehari-hari, sebuah pertimbangan yang dari sudut pandang fisika optik berkaitan dengan distribusi energi cahaya antara zona fokus sentral dan zona defokus perifer pada permukaan lensa. Perkembangan terbaru bahkan telah mengarah pada desain lensa sklera yang dipandu oleh pengukuran muka gelombang (wavefront-guided) untuk mengoreksi aberasi orde tinggi pada mata dengan miopia berat, sebagaimana dilaporkan dalam simposium lensa spesialis global pada awal tahun 2026 (Optometry Times, 2026).

4. Lensa Kontak Cerdas: Fotonika dan Teknologi Sensor

Selain sebagai alat koreksi refraksi, lensa kontak dalam lima tahun terakhir juga berkembang menjadi platform sensor optik dan elektronik yang disebut lensa kontak cerdas (smart contact lens). Salah satu arah pengembangan yang paling banyak diteliti adalah pemantauan kadar glukosa pada air mata sebagai representasi tidak langsung dari kadar glukosa darah pada penderita diabetes. Tinjauan komprehensif terhadap teknologi ini menjelaskan berbagai prinsip penginderaan yang digunakan, mulai dari sensor elektrokimia berbasis enzim, sensor fluoresensi, hingga sensor berbasis difraksi cahaya yang memanfaatkan perubahan pola difraksi akibat interaksi glukosa dengan gugus asam boronat pada material lensa (Elsherif et al., 2022).

Pendekatan berbasis fotonika juga dikembangkan melalui struktur nano plasmonik. Sebuah studi terbaru merancang sensor lensa kontak berbasis struktur etalon nano yang memanfaatkan resonansi plasmon permukaan untuk mendeteksi variasi konsentrasi glukosa melalui pergeseran panjang gelombang cahaya yang dipantulkan, dengan prinsip kerja yang serupa dengan interferometer Fabry-Pérot pada skala nano (Roostaei & Hamidi, 2025). Pendekatan semacam ini menunjukkan bagaimana prinsip interferensi dan resonansi optik, yang lazim diajarkan dalam kajian optika fisis, kini diterapkan langsung pada perangkat biomedis yang dapat dipakai.

Selain glukosa, lensa kontak cerdas juga dikembangkan untuk memantau tekanan intraokular pada penderita glaukoma secara berkelanjutan dan non-invasif, memberikan sistem pemantauan yang berpotensi melengkapi metode pengukuran konvensional yang bersifat sesaat (Wu et al., 2024). Tinjauan lain yang berfokus pada sensor glukosa air mata turut mencatat bahwa tantangan utama pengembangan lensa kontak cerdas saat ini terletak pada miniaturisasi komponen elektronik dan optik agar tetap nyaman dipakai, serta pada keandalan korelasi antara kadar glukosa air mata dan darah dalam kondisi pemakaian sehari-hari (An & Zeng, 2026).

Konsep augmented vision pada lensa kontak juga terus dikembangkan, misalnya melalui penyisipan lampu LED semitransparan dan lensa Fresnel mikroskopis di dalam lensa kontak yang dirancang untuk memproyeksikan citra langsung ke permukaan kornea menggunakan daya yang diterima secara nirkabel melalui gelombang radio (Review of Myopia Management, 2023). Meskipun teknologi ini masih dalam tahap pengembangan, prinsip kerjanya memberikan ilustrasi konkret mengenai penerapan optika difraksi lensa Fresnel dalam skala miniatur untuk kepentingan pembentukan citra.

5. Tantangan dan Prospek

Meskipun perkembangan material dan desain optik lensa kontak menunjukkan kemajuan pesat, sejumlah tantangan tetap menjadi perhatian dalam literatur lima tahun terakhir. Aspek biokompatibilitas jangka panjang, potensi iritasi akibat interaksi lensa dengan lapisan air mata, serta keberlanjutan lingkungan dari lensa sekali pakai menjadi fokus penelitian berkelanjutan, termasuk pengembangan material biodegradable dan sistem pelepasan obat terkendali yang terintegrasi pada lensa (Abdulmami et al., 2024; Oliveira & Martinez-Perez, 2025). Pada aspek kontrol miopia, tantangan terletak pada optimalisasi desain optik agar efek pengendalian pertumbuhan bola mata tidak mengorbankan kualitas penglihatan fungsional penggunaannya (Wu et al., 2024). Sementara itu, pada lensa kontak cerdas, tantangan utama meliputi miniaturisasi komponen elektronik dan optik, sumber daya nirkabel yang efisien, serta validasi keandalan sensor dalam kondisi pemakaian nyata di luar laboratorium (An & Zeng, 2026).

Dari sudut pandang pendidikan fisika, perkembangan-perkembangan tersebut membuka peluang untuk mengintegrasikan topik lensa kontak sebagai konteks pembelajaran optika geometris dan fisis, fisika material, serta fotonika secara kontekstual dan aplikatif, sehingga peserta didik dapat melihat keterkaitan langsung antara konsep fisika dasar dengan teknologi kesehatan yang digunakan secara luas di masyarakat.

Berdasarkan hasil kajian, prinsip dasar optika lensa kontak pada konsep pembiasan cahaya dan pembentukan bayangan pada sistem optik mata. Mata manusia merupakan sistem optik kompleks yang melibatkan kornea dan lensa kristalin, dengan kornea memberikan kontribusi terbesar terhadap daya bias mata. Pada kelainan refraksi seperti miopia dan hipermetropia, posisi fokus cahaya tidak tepat berada pada retina sehingga diperlukan tambahan daya bias untuk mengembalikan fokus ke bidang retina. Lensa kontak bekerja dengan menempatkan elemen optik korektif secara langsung di atas kornea dan dipisahkan oleh lapisan air mata. Posisi tersebut menyebabkan jarak verteks hampir mendekati nol sehingga karakteristik pembentukan bayangan dan kebutuhan daya lensa berbeda dibandingkan lensaacamata, terutama pada koreksi kelainan refraksi dengan kekuatan tinggi. (Oliveira & Martinez-Perez, 2025).

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa efektivitas optik lensa kontak sangat dipengaruhi oleh karakteristik material serta interaksinya dengan kornea dan lapisan air mata. Pengembangan material dari hidrogel konvensional menuju silikon hidrogel memberikan peningkatan signifikan dalam permeabilitas oksigen, yang penting karena kornea memperoleh oksigen terutama melalui difusi dari lingkungan. Namun, permeabilitas oksigen bukan satu-satunya parameter yang menentukan keberhasilan lensa kontak. Kebasahan permukaan, modulus elastisitas, gesekan, kemampuan mempertahankan kelembapan. Oleh karena itu, inovasi material modern diarahkan pada pengembangan permukaan yang lebih mudah dibasahi, memiliki gesekan rendah, mampu mengurangi akumulasi protein dan lipid, serta berpotensi lebih ramah lingkungan (Abdulmami et al., 2024; Erdinest, 2023; Oliveira & Martinez-Perez, 2025). Temuan tersebut memperlihatkan bahwa prinsip optika lensa kontak tidak dapat dipisahkan dari fisika material, karena struktur dan sifat polimer secara langsung menentukan kemampuan lensa dalam mentransmisikan cahaya, mempertahankan bentuk optiknya, serta berinteraksi dengan lingkungan fisiologis mata.

Perkembangan prinsip optika lensa kontak selanjutnya menunjukkan pergeseran fungsi dari sekadar mengoreksi kelainan refraksi menjadi teknologi yang mampu memengaruhi sistem visual dan mendukung pemantauan kondisi fisiologis. Pada pengendalian miopia, misalnya, desain multifokal, dual-focus, dan lenslet asferis memanfaatkan konsep defokus perifer dengan memberikan distribusi fokus tertentu pada retina untuk membantu memperlambat pertumbuhan aksial bola mata (Fan et al., 2024). Di

sisi lain, perkembangan *smart contact lens* menunjukkan penerapan prinsip optika fisis dan fotonika dalam teknologi kesehatan melalui sensor berbasis fluoresensi, difraksi, interferensi, dan resonansi plasmon untuk mendeteksi biomarker seperti glukosa atau parameter fisiologis seperti tekanan intraokular (Elsherif et al., 2022; Roostaei & Hamidi, 2025; Wu et al., 2024). Dengan demikian, hasil kajian menunjukkan bahwa prinsip dasar optika lensa kontak terus berkembang dari konsep pembiasan sederhana menuju sistem optik dan fotonik yang lebih kompleks.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil tinjauan literatur mengenai perkembangan prinsip optika dan material lensa kontak dalam koreksi kelainan refraksi pada periode 2021–2026, dapat disimpulkan bahwa lensa kontak telah berkembang dari perangkat koreksi refraksi konvensional menjadi teknologi optik dan biomaterial yang memiliki fungsi lebih luas. Secara optik, lensa kontak bekerja dengan menambahkan daya bias korektif secara langsung di atas kornea melalui lapisan air mata, sehingga dapat mengoreksi kelainan refraksi seperti miopia, hipermetropia, dan astigmatisme. Perkembangan desain optik juga mencakup lensa multifokal, dual-focus, orthokeratology, desain asferis, serta wavefront-guided optics yang ditujukan untuk meningkatkan kualitas penglihatan dan mengendalikan progresivitas miopia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulamier, A. A., Shaker, L. M., & Al-Amiery, A. A. (2024). Advancements in the chemistry of contact lenses: Innovations and applications. *Results in Chemistry*, 12, 101872. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101872>
- American Academy of Ophthalmology. (2024). Multifocal soft contact lenses for the treatment of myopia progression in children. *Ophthalmology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2024.09.031>
- An, S., & Zeng, D. (2026). Advances in smart contact lenses for tear glucose monitoring: A review. *Frontiers in Science and Engineering*, 6(3), 86–95. <https://doi.org/10.54691/h3rp8p51>
- BCLA CLEAR Presbyopia: Management with Contact Lenses and Spectacles*. (2024). *Contact Lens and Anterior Eye*
- Contact Lens Spectrum. (2023, Januari). Contact lenses 2022. <https://www.clspectrum.com/issues/2023/january/contact-lenses-2022/>
- Corina, F., Wesnita, A., & Elfia, M. (2024). Pengaruh lama pemakaian lensa kontak lunak dengan kejadian dry eyes syndrome pada mata pelanggan Optik Dipovision. *Journal of Optometry, Health, and Research*, 1(1), 1–6.
- Corpus, G., Molina-Martin, A., & Piñero, D. P. (2024). *Efficacy of Soft Contact Lenses for Myopia Control: A Systematic Review. Seminars in Ophthalmology*, 39(3), 185–192.
- Elsherif, M., Moreddu, R., Alam, F., Salih, A. E., Ahmed, I., & Butt, H. (2022). Wearable smart contact lenses for continual glucose monitoring: A review. *Frontiers in Medicine*, 9, 858784. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.858784>
- Erdinest, N. (2023). Book review: Efron, N. Contact lens practice. *Vision*, 7(4), 66. <https://doi.org/10.3390/vision7040066>
- Faizar, F. A., Kartikawati, A., Sahel, S., & Yati, F. (2024). Pemilihan lensa kontak lunak yang tepat untuk klien dry eye syndrome. *Schrodinger: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 5(1), 65–71.
- Fan, H., Zhang, X., Wei, Q., Zhong, Q., Liu, M., Li, B., Li, S., Zhang, R., & Xie, A. (2024). Myopia control efficacy of peripheral defocus soft contact lenses in children and

- adolescents: A meta-analysis. *European Journal of Ophthalmology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/11206721241229474>
- Janarthanan, S. D., Samiyullah, K., Madheswaran, G., et al. (2024). *Exploring the Impact of Optical Corrections on Visual Functions in Myopia Control: A Scoping Review*. *International Ophthalmology*, 44, 47
- Li, X., et al. (2024). *Benefits and Risks of Orthokeratology Treatment: A Systematic Review and Meta-analysis*. *International Ophthalmology*, 44, 239.
- Oliveira, A. P., & Martinez-Perez, C. (2025). Meta-analysis of materials and treatments used in contact lenses: Implications for lens characteristics. *Materials*, 18(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/ma18071445>
- Optometry Times. (2026, Juli). The current state of contact lens technology. <https://www.optometrytimes.com/view/the-current-state-of-contact-lens-technology>
- Review of Myopia Management. (2023, Maret 3). New horizons for contact lenses. <https://reviewofmm.com/new-horizons-for-contact-lenses/>
- Roostaei, N., & Hamidi, S. M. (2025). Plasmonic smart contact lens based on etalon nanostructure for tear glucose sensing. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99624-2>
- Swartz, G., Alam, K., Gentle, A., & Downie, L. E. (2025). *Impact of Contact Lens Correction on Wavefront Aberrations and Vision Quality in Keratoconus*. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 45(7), 1811–1828.
- Wu, J., Li, X., Huang, Y., Luo, Y., Zhang, S., Cui, Z., Hou, F., Bao, J., & Chen, H. (2024). Effect of myopia-control lenses on central and peripheral visual performance in myopic children. *Ophthalmic and Physiological Optics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/opo.13257>
- Wu, K. Y., Dave, A., Carbonneau, M., & Tran, S. D. (2024). Smart contact lenses in ophthalmology: Innovations, applications, and future prospects. *Micromachines*, 15(7), 856. <https://doi.org/10.3390/mi15070856>